E. AISBERG

Zoo.... werkt de Radio!

Het Hoe en Waarom van de Radio in woord en beeld.



● De grondbegrippen van de electriciteit - De werking der moderne lampen - Diode - Triode Tetrode - Pentode Heptode - Oktode - H.F. en L.F. versterking - Detectie - Voeding - Terugkoppeling - Superheterodyne - Fading Selectiviteit. ●

N.V. Uitgevers Maatschappij
Æ. E. Kluwer Deventer.

ZOO.... WERKT DE RADIO!

E. AISBERG

ZOO ... WERKT DE RADIO!

HET HOE EN WAAROM VAN DE RADIO IN WOORD EN BEELD

MET SCHEMA'S EN GEGEVENS VOOR HET ZELF-BOUWEN VAN GOEDKOOPE, EENVOUDIGE EN MEER INGEWIKKELDE ONTVANGTOESTELLEN

BEWERKT NAAR HET FRANSCH

MET KANTLIJNTEEKENINGEN VAN

H. GUILAC



UITGAVE VAN DE N.V. UITGEVERS-MAATSCHAPPIJ
Æ. E. KLUWER — DEVENTER

VOOR WIE IS DIT BOEK BESTEMD?

Noch door de wijze van voorstelling, noch door den inhoud gelijkt dit boek op eenig ander.

De kantlijnteekeningen, waarmee de talentvolle teekenaar Guilac het op zijn bekende geestige manier heeft versierd, zouden een oogenblik kunnen doen veronderstellen, dat het hier om een boek voor kinderen gaat.

Maar in werkelijkheid richt „Zoo . . . werkt de Radio!" zich tot *de beginnelingen en vaklieden van iederen leeftijd.*

Aan den beginneling geeft het boek een gemakkelijk in zich op te nemen overzicht van de fundamenteele wetten der radiotechniek en een eenvoudige uitlegging van de moderne radiotoestellen. Het lezen van het boek vereischt geen voorafgaande kennis van electriciteit en van natuurkunde. De noodzakelijke beginselen van die twee terreinen der wetenschap worden in den tekst daar ingelascht, waar zij noodig geoordeeld zijn voor het begrijpen van de radio.

Aandachtige lezing zal het den beginneling mogelijk maken om zonder moeite binnen te dringen in de zg. mysteriën van de radiotechniek, van die meest interessante aller technieken, waarvan het terrein der toepassingen zich nog van dag tot dag uitbreidt. Deze techniek heeft ons definitief bevrijd uit de boeien van tijd en ruimte.

Is dit boek nuttig voor den beginneling, ook den vakman, die er prijs op stelt zijn ideeën eens te ordenen, kan het niet minder van dienst zijn. Door haar snelle ontwikkeling heeft de radiotechniek in het brein van hen, die er zich mee bezighouden, een opeenhooping veroorzaakt van de meest verwarde ideeën, die noodzakelijk gerangschikt moeten worden, voordat men er een logisch systeem uit kan opbouwen; bovendien geven de gebruikelijke uiteenzettingen in soms verouderde handboeken over het meerendeel der radioverschijnselen een al te wiskundig en al te abstract begrip.

Vooral met het oog op die „rangschikking van begrippen" en hun rationeele ordening zal de vakman met voordeel dit boek lezen, omdat de schrijver steeds is geleid door de zorg om een wezenlijk en concreet beeld te geven van elk der bestudeerde verschijnselen.

Om iets populair te maken is men niet verplicht oppervlakkig te worden. Om eenvoudig te zijn, heeft men niet altijd overdreven eenvoudige uitleggingen noodig. En om degelijk te zijn, behoeft men nog niet vervelend te worden.

De auteur hoopt deze drie klippen van een verkeerde wijze van bevattelijk maken omzeild te hebben. Zijn uitleggingen heeft hij gebaseerd op de algemeene door de hedendaagsche wetenschap aanvaarde theorieën. Hij heeft zich krachtig verzet tegen het „vereenvoudigen" ten koste van de waarheid.

Ten einde alle academische dorheid te vermijden, heeft de schrijver den vorm van „gesprekken" gekozen, die zijn boek levendig en gemakkelijk ver-

teerbaar maken en die hem in staat stellen den lezer te behoeden voor alle hinderlagen, die hem door een langjarige practijk bij het onderwijs zijn aangewezen.

Zonder dat het aanspraak wil maken op den titel „bouwhandboek", is dit boek toch niet minder onmisbaar voor allen, die met kennis van zaken een radiotoestellen willen gaan bouwen. Door onvoorwaardelijk al datgene ter zijde te stellen, wat verouderd is, is de schrijver er in geslaagd den lezer een begrip te geven van de nieuwste principes, die aan den bouw van moderne een radiotoestel ten grondslag liggen. Om dat doel te kunnen bereiken zonder aan het boek een overdreven grooten omvang te geven en zonder het brein van de lezers noodeloos af te matten, is de schrijver verplicht geweest een voorstellingswijze te kiezen met vrij alledaagsche voorbeelden; alle overbodige „literatuur" heeft hij vermeden.

Maar toch bevat het boek, ondanks zijn uiterlijk, een degelijk overzicht; het is noodzakelijk het langzaam te lezen, zoodat men nooit naar een volgende bladzijde moet omslaan, voordat men het voorafgaande volledig in zich heeft opgenomen.

Als dit boek er in slaagt meer bekendheid aan de radio te geven en de liefde er voor op te wekken, zal de schrijver zich gelukkig achten, aldus zijn bescheiden bijdrage te hebben gegeven aan de verbreiding van deze mooie wetenschap.

E. AISBERG.

VOORWOORD VAN DEN VERTALER.

Het is het bijzondere karakter van het werk, dat aanleiding is geweest het boek van E. Aisberg voor Nederland te vertalen. Ik heb er daarbij naar gestreefd den oorspronkelijken opzet zooveel mogelijk te volgen. Daarom zijn de oorspronkelijke illustraties ook in de Nederlandsche bewerking opgenomen; zij geven het boek een fleur, die het tot een genoegen maakt het te lezen. Zooals de schrijver terecht zegt, dient men het boek aandachtig te lezen en niet verder te gaan met een volgende bladzijde, alvorens men de vorige goed begrepen heeft. Dit begrijpen zal intusschen weinig moeite kosten, daar de schrijver juist voor oogen heeft gehouden het doel: de radio voor een ieder begrijpelijk te maken en tevens den vakman eens een anderen gezichtshoek te bieden.

Teneinde de prijs van de Nederlandsche uitgave onder ieders bereik te houden, zijn de schema's met slechts geringe wijzigingen overgenomen. Hierdoor is er eenig verschil tusschen de in dit boek gebruikte aanduidingen en die volgens de normalisatie, echter stoort dit geenszins, daar de gebruikte aanduidingen in den tekst zijn verklaard, zoodat niemand er moeite mede zal hebben. Het doel, het boek goedkoop te houden kon daardoor bereikt worden.

Wanneer ik met de vertaling bereikt zou hebben, dat de beginselen der radio en de werking van moderne radiotoestellen voor een ieder bevattelijk zijn gemaakt, zou ik mij daarmede zeer verheugen.

Ten slotte wil ik op deze plaats mijn dank betuigen aan den heer A. A. M. A. Kalmeyer te 's-Gravenhage, die mij vele en belangrijke opmerkingen deed toekomen betreffende de juiste vertaling en het juiste gebruik van sommige Nederlandsche vaktermen.

Rotterdam, Juni 1939. DE VERTALER.

INHOUD.



Zoo..... werkt de radio!!



DE PERSONEN.



Ten eerste: een zeer beleefde jongeman, *Weetal,* wien vroeger de grondbeginselen van de radiotechniek zijn bijgebracht door zijn oom, ingenieur Radiolus. De schrijver heeft hun gesprekken vastgelegd in een ander boek, dat een groot succes is geworden en dat in wel twintig talen is vertaald.

Weetal is nu 18 jaar. Hij heeft niets van zijn vroegere nieuwsgierigheid verloren en ook niets van zijn jeugdige werklust en vroolijkheid. Hij is een ervaren radio-amateur en hij gaat nu op zijn beurt met groote duidelijkheid de theorie van de radio uitleggen. Overigens was hij vanaf zijn prilste jeugd een wonderlijke jongen . . .



Vraagal? . . . U kent hem niet? Dat is de mensch-geworden onwetendheid. Omdat hij absoluut overhoop ligt met de wiskunde, kent hij ternauwernood de eerste beginselen van de natuurkunde. Hij wordt voortdurend heen en weer geslingerd tusschen den wensch om te leeren en den angst om iets niet te begrijpen. Maar, weet u, ondanks zijn veertien jaren, is hij toch niet dom. Verre van dat! U zult dat overigens zelf wel gewaarworden vanaf het . . .



EERSTE GESPREK

In dit eerste gesprek worden de grondbeginselen van de electriciteit uiteengezet. Door een beroep te doen op de electronen-theorie slaagt Weetal er in de zaken op een zeer duidelijke manier voor te stellen. Dat zal het begrijpen van de volgende gesprekken zeer vergemakkelijken.

VRAAGAL DWAALT IN VOLKOMEN ONWETENDHEID ROND.



Weetal. — Ga zitten, Vraagal, en laat mij je het doel van dien dringenden oproep uitleggen. Ik hoop, dat je ondanks eenige betreurenswaardige voorvallen in het verleden, weet, dat ik een peettante heb, van wie ik veel houd. Gisteren heeft zij mij gevraagd een radiotoestel voor haar te bouwen. Maar, zooals je weet, zit ik op het oogenblik hard te blokken voor mijn eindexamen. Kan ik op jou rekenen om mij bij den bouw van dat toestel te komen helpen?

Vraagal. — Heel graag . . . Alleen, wat kan ik doen? Ik weet niets van radio af!

W. — Van radio? . . . Maar dat is zeer eenvoudig! . . . Ik zal je de dingen

heel gemakkelijk uitleggen. Kijk, hier heb je het schema, dat ik voor het toestel van tante heb geteekend (fig. 1).

Vr. — Dat is allemachtig ingewikkeld!

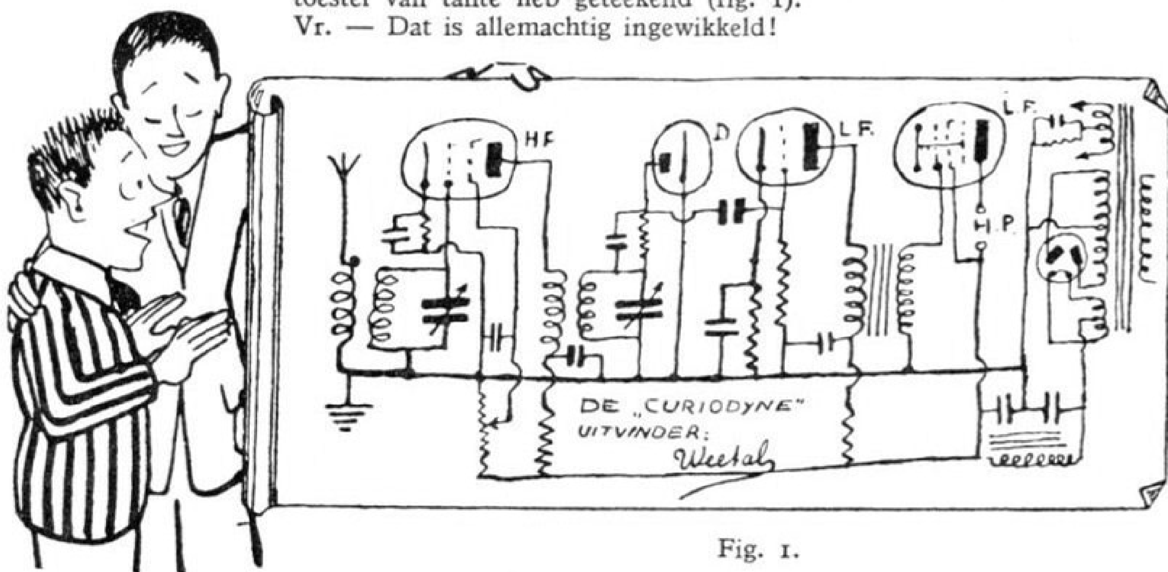


Fig. 1.



W. — En dit is de lamp, die ik heb kunnen koopen met het voorschot, dat tante mij heeft gegeven voor het aanschaffen van de materialen. Want zij zal zoo geleidelijk het geld verstrekken, dat noodig is voor den aankoop van de onderdeelen.

Vr. — Die lamp zal, dunkt mij, niet veel dienst kunnen doen. De bol is niet doorzichtig en zij zal zeker weinig licht doorlaten.

W. — Domoor! Deze lamp dient heelemaal niet voor verlichting. Het is een triode-versterkerlamp met indirecte verhitting.

Vr. — Ik ga maar liever direct weer weg, want je houdt mij voor den gek door van die barbaarsche woorden te gebruiken.

W. — Wacht even! Ik zal het je uitleggen. In een lamp gaat de stroom van de kathode, die negatief is, naar de anode, die positief is.

Vr. — Hoe langer hoe mooier! Volgens jou gaat de stroom van negatief naar positief. Nu, ik heb sinds mijn prilste jeugd het tegenovergestelde geleerd. Hoe wil je, dat ik nu den weg terugvind?

WEETAL BEGINT BIJ HET BEGIN.

W. — Waarlijk, het blijkt noodig te zijn om te beginnen met je de allereerste begrippen van de electriciteit uit te leggen, want je gedachtengang is al bedorven door de onnauwkeurige ideeën, die je schoolboeken je hebben bijgebracht. Hebben zij je dan tenminste geleerd, wat een atoom is?

Vr. — Ja, dat is het kleinste deeltje van de stof en dat is bijgevolg ondeelbaar.

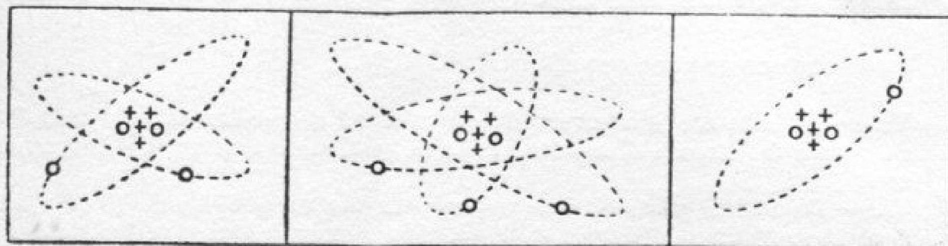
W. — Dacht ik het niet? . . . Weet dan, dat, al dacht men in den tijd, toen jouw natuurkundeleeraar zijn examens deed, zoo vast als een huis, dat het atoom ondeelbaar was, men tegenwoordig weet, dat het is samengesteld uit een aantal nog veel kleinere deeltjes.

Vr. — Die op hun beurt waarschijnlijk weer onderverdeeld zijn in nog weer kleinere deeltjes?

W. — Dat zal men hoogstwaarschijnlijk aan onze kinderen leeren . . ., als wij die zullen krijgen. Intusschen beschouwt men het zoo, dat het atoom bestaat uit *electronen* en *protonen*. De electronen vormen de elementaire negatieve electrische lading. De protonen zijn de positieve lading. Tusschen de electronen en de protonen bestaat een zekere aantrekkingskracht.

Vr. — Zij zijn dus als het ware aan elkaar verbonden?
W. — Neen, want tusschen de electronen onderling aan den eenen kant en tusschen protonen onderling aan den anderen kant bestaat een afstootende kracht. Daaruit volgt, dat in het atoom de aantrekkende en de afstootende krachten met elkaar in evenwicht zijn, terwijl de electronen zich — zooals de planeten om de zon — om de centrale kern bewegen, die is samengesteld uit protonen en eenige electronen (fig. 2).
Vr. — Dat is als een zonnestelsel in het klein!
W. — Zeer juist! Merk nu op, dat als er in een atoom evenveel protonen als electronen zijn, het atoom *neutraal* is. Zijn er meer electronen dan protonen, dan is de negatieve lading grooter dan de positieve en het atoom is *negatief*. Tenslotte . . .







Neutraal atoom Negatief atoom Positief atoom
Fig. 2. De kruisjes stellen de protonen voor, de cirkeltjes de electronen.

Vr. — . . . als er minder electronen dan protonen zijn, is het atoom *positief*.
W. — Prachtig! Ik zie, dat je het begrepen hebt.

HET GEZONDE VERSTAND STREEFT NAAR EVENWICHT.



Vr. — Ik zou echter willen weten, hoe een atoom positief of negatief kan worden.
W. — De electronen, die zich ver van de kern bevinden, worden daar slechts zwak door aangetrokken. Als ze nu komen binnen de aantrekkingssfeer van een naburig atoom met te weinig electronen, dan verlaten zij hun eigen atoom om het naburige compleet te maken of in evenwicht te brengen.
Vr. — Dat is net als bij de Japanners . . .
W. — Ik zie niet in, wat de zonen van het Land van de Rijzende Zon . . .
Vr. — Ja zeker! Omdat Japan overbevolkt is, emigreeren zij naar minder dichtbevolkte landen.
W. —Zooals je wilt . . . Maar, in ieder geval, onthoud, dat de electronen gaan van de atomen, waarin zij talrijker zijn, de negatieve atomen dus, naar atomen, waarin zij minder in getal zijn: de positieve. Als je dus door welk middel ook de negatieve atomen (met te veel electronen) van het eene einde van een metaaldraad verbindt met de positieve atomen (met te weinig electronen) van het andere uiteinde, dan zullen de electronen van het eene

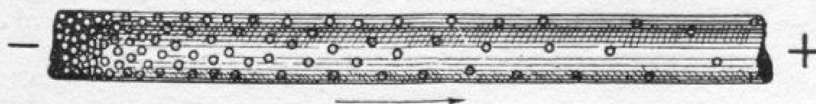
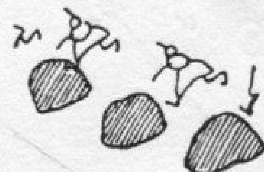
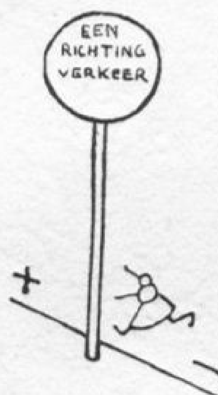


Fig. 3. De electrische stroom is een verplaatsing van electronen, die probeeren om het evenwicht in hun verdeeling te herstellen.

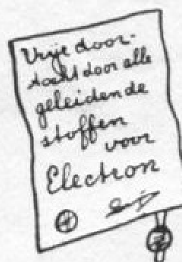


atoom naar het andere overspringen en zoo dwars door alle tusschenliggende atomen tot op het oogenblik, waarop het evenwicht hersteld is. In welke richting zullen de electronen gaan?
Vr. — Natuurlijk van het negatieve uiteinde naar het positieve.

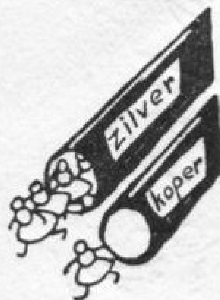


W. — Welnu, die verplaatsing van de electronen, dien electronenstroom dus, noemt men *electrische stroom.*
Vr. — Kolossaal!... Dus is het toch waar, dat de stroom van negatief naar positief gaat... en onze leeraar heeft ons gezegd, dat...
W. — Hij heeft je doodeenvoudig verteld van de overeengekomen richting van den stroom, want in den tijd, toen men overeengekomen is willekeurig één bepaalde richting voor den electrischen stroom aan te nemen, kende men de electronentheorie nog niet. Men heeft zich eenvoudigweg vergist, toen men overeenkwam om aan te nemen, dat de stroom van positief naar negatief gaat. Je zult die bewering nog vinden in veel boeken, die in 1934 zijn uitgegeven. Het gaat hier om een eenmaal gemaakte afspraak. Onthoud nu maar, dat de electronen van negatief naar positief gaan, of van „minus" naar „plus", zooals men zegt.

6 000 000 000 000 000 000 ELECTRONEN.



Vr. — Je hebt zoo juist over een metaaldraad gesproken. Ik weet wel, dat de electrische stroom alleen door metalen gaat, maar waarom is dat eigenlijk zoo?
W. — De stroom gaat ook door oplossingen van zuren of basen (alkaliën) en door kool. Al die stoffen zijn *geleiders.* Hun atomen bevatten veel electronen, die gemakkelijk kunnen ontsnappen aan de aantrekkingskracht van de kern. Maar er bestaan ook andere stoffen, waarin de electronen te vast aan de kern zijn verbonden om het atoom te kunnen verlaten. In die stoffen, *niet-geleiders (isolatoren)* of *diëlectrica* geheeten, kan de electrische stroom zich klaarblijkelijk niet voortplanten. Onder de voornaamste niet-geleiders (isolatiestoffen), die in de radio worden gebruikt, noem ik kwarts, eboniet, barnsteen, bakeliet, glas, porcelein, paraffine. Tusschen de niet-geleidende en de geleidende stoffen staan de *half-geleiders,* bv. vochtig hout. (Het is daarin overigens het water, dat het geleidingsvermogen verzekert.)



Vr. — Wat is de beste isolatie?
W. — Droge lucht.
Vr. — En de beste geleider?
W. — Zilver. Maar rood koper is bijna even goed, en omdat het goedkooper is, wordt dit veel meer toegepast.
Vr. — Maar hoe weet men, dat zilver een betere geleider is dan koper?
W. — Omdat onder overigens dezelfde omstandigheden door een zilverdraad een stroom van grootere sterkte kan vloeien dan door een koperdraad van gelijke afmetingen.
Vr. — Wat versta je onder „stroomsterkte"?
W. — Dat is het aantal electronen, dat deelneemt aan de verplaatsing, die wij electrischen stroom hebben genoemd.



Vr. — Men kan dus spreken van een stroomsterkte van 10 of 1000 electronen?
W. — Dat zou men kunnen doen. Maar in de practijk meet men de stroomsterkte in *ampères.* Eén ampère komt overeen met een verplaatsing van 6×10^{18} electronen per seconde. Ik noem je nu maar een rond getal...
Vr. — Dank je wel!
W. — Heel vaak bedient men zich ook van gedeelten van een ampère: de *milliampère (mA),* die gelijk is aan een duizendste ampère, of de *micro-ampère* (μA), dat is het millioenste deel van een ampère. Zooals je ziet, het is zeer eenvoudig.
Vr. — Integendeel, ik vind dat allemaal verduiveld ingewikkeld! Maar waarvan is nu de stroomsterkte afhankelijk?
W. — Van de op de geleiders aangesloten *spanning* en van den *weerstand* van dien geleider.

DE WOORDEN VERANDEREN VAN BETEEKENIS.

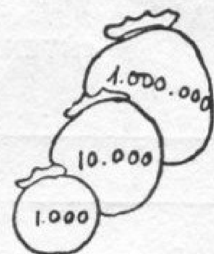


Vr. — Ik veronderstel, dat „spanning" en „weerstand" in de electriciteit iets speciaals beteekenen, hè? Het is er mee als met den cirkel...
W. — Als met den cirkel?
Vr. — Ja zeker! Voordat ik meetkunde ging leeren, wist ik al heel goed, wat een cirkel is. Maar sinds men mij heeft geleerd, dat de cirkel „de meetkundige plaats is van alle punten, die zich bevinden op gelijken afstand van een bepaald, gegeven punt", begrijp ik er niets meer van...
W. — Welnu! In de electriciteit is de *weerstand* de eigenschap van een geleider om... een grooteren of kleineren weerstand te bieden aan den doortocht van een stroom. Hij is afhankelijk van den aard van den geleider, d. w. z. van het aantal electronen, dat gemakkelijk los te maken is van de atomen. Hij is ook afhankelijk van de lengte van den geleider. Hoe langer deze is, hoe grooter de weerstand. Tenslotte is hij ook afhankelijk van de doorsnede van den geleider. Als de doorsnede groot is, kunnen er meer electronen tegelijk doorheen en bijgevolg is de weerstand kleiner [1]). De weerstand wordt gemeten in *ohms* (Ω) of in millioenen ohms: *megohms* (MΩ). Eén ohm is zoo ongeveer de weerstand van een koperdraad van 62 m lengte met een doorsnede van 1 mm².

WIJSGEERIGE BESCHOUWINGEN OVER DE RELATIVITEIT.



Vr. — En wat is de *spanning*?
W. — De spanning is, om het zoo eens uit te drukken, de druk, die op de electronen wordt uitgeoefend door het verschil in den electrischen toestand aan de uiteinden van den geleider.
Vr. — Dat is weer geweldig ingewikkeld en erg duister...
W. — Wel neen, het is eenvoudig. Zooals ik je al heb gezegd, bepaalt de verhouding tusschen electronen en protonen het electrisch vermogen of de *potentiaal* van een atoom. Stel nu eens, dat je twee atomen hebt. In de eerste ontbreken 3 electronen, in de tweede 5.
Vr. — Allebei zijn ze positief. En als ik het zou durven zeggen, de tweede is „positiever" dan de eerste.



W. — Je moet durven, want zoo is het. En zelfs, hoewel beide atomen positief zijn, zou men kunnen zeggen, dat de eerste in vergelijking met de tweede negatief is.
Vr. — Daar heb je het nou... Het is een feit, dat in het leven alles betrekkelijk is!
W. — Ja zeker! Want kijk, van twee personen, die allebei geld hebben, is hij, die maar 1000 gulden bezit, arm ten opzichte van een ander, die een millioen heeft, maar hij is rijk in vergelijking met een derde, die 10 000 gulden schuld heeft. In de atomenwereld is het atoom, dat drie electronen te weinig heeft, negatief ten opzichte van het atoom, waaraan er tien ontbreken en positief ten opzichte van een, dat er twee teveel heeft. Die drie atomen hebben verschillende *potentialen*.



Vr. — En worden de potentiaalverschillen gemeten naar het verschil van het aantal electronen?
W. — Dat zou men kunnen doen. Maar practisch wordt het *potentiaalverschil*, of wat hetzelfde is, wordt de *spanning* uitgedrukt in *volts*. Een volt

---

[1]) Een formule? Hier is er een: De weerstand R (in ohms) is afhankelijk van de lengte L (in cm) en van de doorsnede D (in cm²), volgens de formule:

$$R = \rho \frac{L}{D}.$$

In dezen vorm is ρ een coëfficiënt, die afhangt van den aard van den geleider en die de *specifieke weerstand* wordt genoemd.

is de spanning, die gegeven aan de uiteinden van een geleider met een weerstand van 1 ohm, daarin een stroom met een sterkte van 1 ampère doet ontstaan.

Vr. — Zoodat, als ik je goed begrepen heb, de spanning een soort van electrischen druk is, die de electronen van het eene einde van een geleider duwt naar het andere?

W. — Precies! En nu kan je gemakkelijk raden, dat hoe grooter de spanning is ..

Vr. — . . . des te grooter de stroomsterkte.

W. — En, daarentegen, hoe grooter de weerstand . . .

Vr. — . . . des te kleiner de stroomsterkte.



W. — Wij hebben nu zoo juist een van de voornaamste wetten van de electriciteit opnieuw ontdekt: *de Wet van Ohm.* Men zegt in het kort, dat de stroomsterkte gelijk is aan de spanning, gedeeld door den weerstand [1]).

Vr. — Ik begin zoo langzamerhand een ware hutspot in mijn hersenpan te voelen. Electronen, protonen, weerstand, ohm, spanning, volt, stroomsterkte, ampère, wet van Ohm . . . Het is toch maar duivels ingewikkeld!

W. — Denk er maar eens over na tot aan ons volgende gesprek. Dan zal je zien, dat het erg eenvoudig is.

---

[1]) En hier is voor wiskundigen de klassieke formule van de Wet van Ohm:

$$I = \frac{E}{R}$$

waarin I de stroomsterkte in ampères;
E de spanning in volts tusschen de uiteinden van den geleider;
R de weerstand in ohms van den geleider.

EENIGE SYMBOLEN, ZOOALS ZIJ IN RADIO-SCHEMA'S WORDEN GEBRUIKT.

ANTENNE	AARDE	ONDERLING NIET VERBONDEN LEIDINGEN	ONDERLING VERBONDEN LEIDINGEN

TEEKEN VOOR VERANDERBAARHEID	VASTE CONDENSATOR	VERANDERBARE OF VARIABELE CONDENSATOR	VASTE WEERSTAND	VERANDERBARE OF VARIABELE WEERSTAND

SPOEL	GEKOPPELDE SPOELEN	VERANDERBARE KOPPELING	SPOEL MET IJZEREN KERN	TRANSFORMATOR MET IJZEREN KERN

TWEEDE GESPREK

Vraagal wist niets van wisselstroom, van frequentie of van periode. Het electro-magnetisme was hem eveneens onbekend. Aan het einde van dit tweede gesprek weet hij precies, wat de woorden golflengte, electro-magneet, magnetisch veld beteekenen... Hij zou u even goed als Weetal kunnen uitleggen, waarin het inductie-verschijnsel bestaat. Want, goed beschouwd, is Vraagal een begaafde jongen...

OVER SOMMIGE HEEN-EN-WEER-REIZEN.

Vr. — Den vorigen keer, Weetal, heb je met mij gesproken over electronen, protonen, over electrischen stroom... kortom, over alles, behalve over radio!

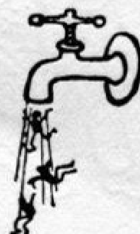


W. — Maar, beste jongen, in de radio houden wij ons uitsluitend met electrische stroomen bezig en in de eerste plaats moet je dus de wetten kennen, waaraan die stroomen gehoorzamen.

Vr. — En ik, die dacht, dat de radio vooral een wetenschap van golven was!

W. — Zeker, de golven spelen een belangrijke rol. Het zijn de golven, die over een afstand de verbinding tot stand brengen tusschen de antenne van den zender en die van den ontvanger. Maar bij den zender worden zij opgewekt door een wisselstroom van hooge frequentie, die de zendantenne doorloopt; en bij den ontvanger veroorzaken zij een soortgelijken stroom, hoewel minder sterk, in de ontvangantenne.

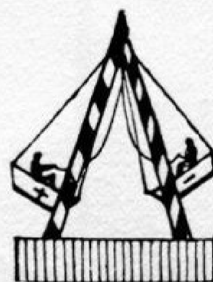
Vr. — Dat is prachtig. Je praat me daar over een „wisselstroom" van „hooge frequentie", zonder de moeite te nemen, de beteekenis van die woorden uit te leggen.



W. — Nu zie je, hoe noodzakelijk het is de electriciteitsleer te kennen, voordat je je in de radio gaat verdiepen... Tot nu toe hebben wij alleen gesproken over *gelijkstroom*, d. w. z. over een stroom, die altijd in dezelfde richting gaat en die steeds dezelfde sterkte heeft.

Vr. — Zooals water, dat uit een geopende kraan stroomt.

W. — Ja, dat kan... Maar veronderstel nu eens, dat een electrische machine (een *wisselstroomdynamo*) of een ander toestel periodiek de polariteit van de uiteinden van een geleider omwisselde. Dan werd ieder uiteinde afwisselend positief, daarna nam de potentiaal af, liep door nul heen en werd daarna meer en meer negatief. Na het maximum bereikt te hebben (dat we *amplitudo* noemen), nam de potentiaal weer af, ging hij weer door nul en werd weer positief, nam weer toe... en alles begon weer van voren af aan (fig. 4.)



Vr. — Dat lijkt volkomen op een schommel, die omhoog gaat, daarna naar beneden komt, dan door zijn laagsten stand gaat en weer begint te stijgen, maar nu aan den anderen kant, enzoovoort.

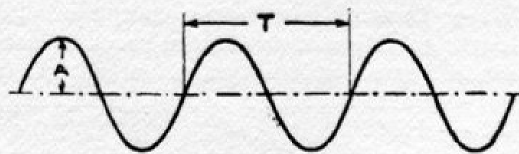
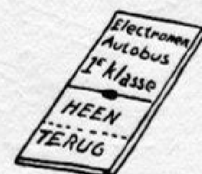


Fig. 4. De spanning van den wisselstroom.
A = amplitudo T = periode.

W. — Je voorbeeld is goed gekozen. Je begrijpt, dat de stroom, die in een geleider ontstaat ten gevolge van een dergelijke wisselende spanning, zelf ook wisselend zal zijn, d. w. z. hij zal periodiek van richting veranderen en zijn sterkte zal variëeren in verhouding tot de wisselingen van de spanning.

Vr. — Dus, als ik je goed begrepen heb, reizen de electronen in een wisselstroom onophoudelijk heen en weer?



W. — Ja. En de tijd van zoo'n uit- en thuisreisje tezamen heet een *periode*.

Vr. — Duurt zoo'n periode lang?

W. — Men gebruikt zoowel stroomen, waarvan de periode 0,06 seconde

duurt, als stroomen met een periode van 0,000 000 000 3 seconde. Dat is afhankelijk van de *frequentie* van den stroom.
Vr. — Wat is dat?
W. — Men noemt *frequentie* het aantal perioden per seconde. Dus, als de periode $^1/_{50}$ seconde duurt, gaan er 50 in een seconde en wij zeggen dan, dat de frequentie gelijk is aan 50 perioden per seconde.



OP HET TERREIN VAN DE GOLVEN.

Vr. — Ik begin zoo langzamerhand te begrijpen, wat je zoo straks hebt gezegd over een wisselstroom van hooge frequentie (een hoogfrequenten wisselstroom).
W. — Zoo noemt men de stroomen, waarvan de frequentie boven 10 000 perioden per seconde ligt. Zulke stroomen wekken, als ze door een verticalen geleider gaan, electro-magnetische golven op, die zich van den geleider af voortplanten als kringen, waarvan de straal toeneemt met een snelheid van 300 000 000 m per seconde.

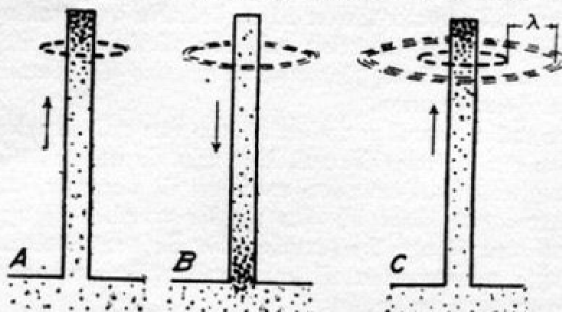
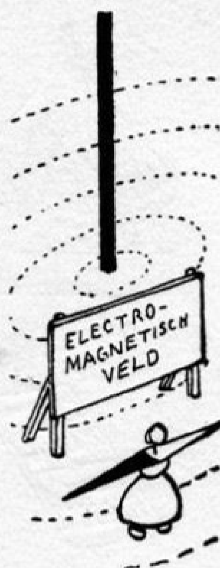


Fig. 5. Zoo kan men zich de beweging van de electronen in de antenne en de opwekking van de golven voorstellen.



Vr. — Maar dat is de snelheid van het licht!
W. — Inderdaad! En dat komt, omdat het licht ook bestaat uit electro-magnetische golven, maar met een kortere golflengte dan de radiogolven.
Vr. — Wat noem je eigenlijk „golflengte"?
W. — Dat is de afstand tusschen twee electro-magnetische kringen, die na elkaar de antenne hebben verlaten. Dien verticalen geleider noemen wij *antenne*. Bij iedere periode van den hoogfrequenten stroom ontstaat een kring. Dus, op het oogenblik, dat een tweede kring de antenne verlaat, heeft de eerste al een zekeren afstand afgelegd; dat is precies de golflengte. Zij is gelijk aan ...
Vr. — ... de snelheid vermenigvuldigd met den tijdsduur van één periode. De snelheid is hier 300 000 000 m per seconde en de tijd tusschen twee opeenvolgende golven is de stroomperiode. De golflengte is dus gelijk aan de snelheid der voortplanting vermenigvuldigd met de periode.
W. — Ik maak je wel mijn compliment! Men kan ook zeggen, dat de golflengte gelijk is aan den in één seconde doorloopen afstand, gedeeld door het aantal per seconde uitgezonden golven, d. w. z. door de frequentie [1]).
Vr. — Dat is net als die twee jongens, die ik zooeven op straat zag hardloopen.
W. — Hè?!
Vr. — Ja zeker! Die eene jongen, een groote, had lange beenen, de andere was erg klein. Zij liepen hand in hand, met dezelfde snelheid dus. De grootste nam groote stappen, maar minder vlug achter elkaar dan de kleinste, die naast hem draafde. Dat bewijst, zooals je ziet, dat hoe grooter de golflengte is (de lengte van één stap), des te kleiner is de frequentie (het aantal stappen per seconde) en omgekeerd.
W. — Je vergelijking gaat volkomen op!



[1]) Hier zijn de formules ... voor wie er van houdt!
Als we de periode T, de frequentie F en de golflengte λ (spreek uit: *lambda*) noemen, kunnen wij de volgende betrekkingen opschrijven:

$$T = \frac{1}{F};\ F = \frac{1}{T};\ \lambda = 300\,000\,000\ T = \frac{300\,000\,000}{F}.$$

HIER GAAT HET OM ONZICHTBARE DINGEN.



Vr. — Maar toch zijn er nog een paar dingen duister voor mij. Wat zijn dat voor kringen, die jij electro-magnetische golven noemt?
W. — Eerlijk gezegd, ik weet het niet precies en ik geloof, dat de geleerden zelf het ook niet heelemaal eens zijn op dat punt. Ik kan je wel zeggen, dat er rondom een geleider, waardoor een electrische stroom gaat, een electro-magnetisch veld ontstaat, d. w. z. een samenstelsel van electrische krachten (aantrekking en afstooting van electronen en protonen, waarover ik den vorigen keer met je heb gesproken). Ook is er een stelsel van magnetische krachten. Laatstgenoemde kun je ontdekken door bij den geleider een kompas te brengen, waarvan de naald zich loodrecht op den geleider zal richten.
Vr. — Dat is dus hetzelfde veld als bij een magneet?
W. — Ja, alleen met dit verschil, dat als je een magneet bij een kompas houdt, de kompasnaald door dien magneet wordt aangetrokken.

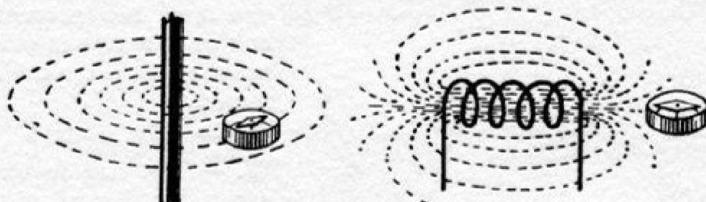
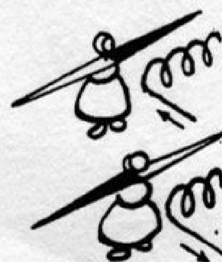


Fig. 6. Het magnetisch veld van een rechten geleider en van een spoel.

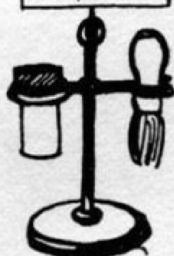


Vr. — Kan men een geleider, waardoor een stroom vloeit, op dezelfde wijze gebruiken als een magneet?
W. — Ja. Maar de magnetische kracht is erg zwak. Om deze te versterken moet men beschikken over verscheidene geleiders naast elkaar, die in dezelfde richting loopen, zoodat hun magnetische velden elkaar onderling versterken.
Vr. — Hoe kan men dat doen?
W. — Practisch is het voldoende een draad spiraalvormig op te rollen. Zoo krijgen we dan een *electro-magneet*, die veel sterker kan zijn dan een gewone magneet. Men kan hem nog voorzien van een ijzeren of stalen kern, die het magnetisch veld dichter maakt en de sterkte er van vergroot.
Vr. — Hangt de aantrekkingskracht van den magneet af van de stroomrichting?
W. — Ja. Als voor een bepaalden stroom de eene pool van den electromagneet de noordpool van de kompasnaald aantrekt, zal, als men den stroom omkeert, de zuidpool aangetrokken worden. Want het magnetisch veld heeft een richting, die afhankelijk is van de richting van den stroom, die dat veld voortbracht. En iedere verandering in de sterkte of de richting van den stroom wordt omgezet in een overeenkomstige verandering van het magnetisch veld.
Vr. — Dus, als ik je goed heb verstaan, zijn de electro-magnetische golven eigenlijk niets anders dan velden, die den stroom, waardoor zij zijn voortgebracht, hebben verlaten en die nu door de ruimte wandelen met de aanzienlijke snelheid van 300 000 000 m per seconde. Maar hoe ontvangt men die nu?



DE OMGEKEERDE VERSCHIJNSELEN.

W. — Er zijn in de natuur een groot aantal verschijnselen, die men „omgekeerd" noemt. Het voortbrengen van een magnetisch veld is er een van. Als een stroom een veld opwekt, wekt omgekeerd een veld, of juister gezegd, wekken de veranderingen van een magnetisch veld een stroom op in een geleider, die zich in dat veld bevindt.



Vr. — Dus in onverschillig welken geleider, die zich binnen haar gebied bevindt, ontwikkelen de electro-magnetische golven een stroom?

W. — Ja! Dus in dit metalen staafje, dat mijn scheerzeep en mijn kwast vasthoudt, is op het oogenblik een hoeveelheid hoogfrequente stroomen aanwezig, voortgebracht door alle nu in werking zijnde zenders.

Vr. — Ben je dan niet bang, dat je geëlectrocuteerd wordt onder het scheren?

W. — Neen, want die stroomen zijn buitengewoon zwak, gezien den grooten afstand, die ons scheidt van de verschillende zenders, wier golven hier aankomen met een zeer verzwakt veld.

Vr. — Neem mij niet kwalijk, maar dit alles lijkt mij toch verschrikkelijk ingewikkeld.

W. — Om je te bewijzen hoe eenvoudig het is, ga ik een klassieke proef voor je nemen. Kijk, hier zijn twee spoelen, die ik voor het toestel van tante heb gekocht, hier is ook de batterij van mijn zaklantaarn en dit is een milli-ampèremeter.



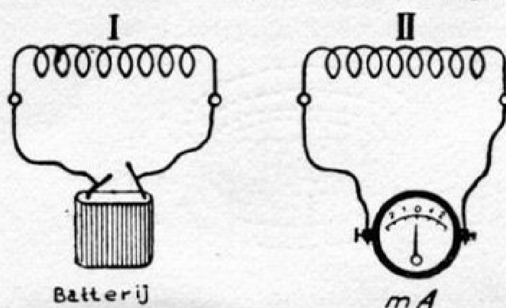


Fig. 7. De spoelen I en II zijn door inductie gekoppeld.
mA = milli-ampèremeter.

Vr. — Wat is dat?

W. — Dat had je wel kunnen raden. Dat is een instrument om de stroomsterkte te meten. Ik verbind de batterij met de eerste spoel en de milli-ampèremeter met de tweede (fig. 7) en ik koppel de beide spoelen.

Vr. — Wel neen! Zij zijn heelemaal niet gekoppeld, want er is een afstand tusschen.

W. — Je vergist je, waarde vriend! De *koppeling* in kwestie is een electromagnetische: de tweede spoel bevindt zich in het veld van de eerste. En overigens zul je dat dadelijk zien.

GEVOLGTREKKINGEN UIT DE INDUCTIE.

Vr. — Toch blijf ik gelooven, dat jij je vergist, want als de tweede spoel zich in het veld van de eerste bevindt, moest zij daar eveneens een stroom hebben volgens hetgeen je zoojuist hebt gezegd over de voortbrenging van een stroom door een veld. Maar de wijzer van je ampèremeter blijft op nul.



W. — Ik heb je toch gezegd, dat de stroom alleen wordt opgewekt door de *veranderingen* van het veld! Welnu, door deze spoel hier loopt een gelijkstroom, het veld is dus constant en er is dus geen enkele reden, dat er in de tweede spoel een stroom zal ontstaan. Maar let nu op! Ik maak de batterij van de eerste spoel los ...

Vr. — Kolossaal!! De wijzer van den milli-ampèremeter week naar rechts uit en toonde dus een stroom van korten duur aan.

W. — Die stroom is ontstaan, doordat het veld ging verdwijnen; dat was dus een verandering. En nu verbind ik de batterij opnieuw met de spoel.

Vr. — Nu week de wijzer weer uit, maar nu naar links.

W. — Dat komt, omdat er nu een veld werd voortgebracht, dat is een tegengestelde verandering van de vorige. Als ik nu in plaats van de batterij in en uit te schakelen door de eerste spoel een wisselstroom laat loopen ...

Vr. — . . . dan zal het veld voortdurend veranderen en dan zou in de tweede spoel eveneens een wisselstroom ontstaan.
W. — Weet nu, dat de stroom, die het veld voortbrengt, de *induceerende stroom* heet; de door het veld voortgebrachte is de *geïnduceerde* stroom. En het verschijnsel, dat de eene stroom op een afstand een anderen stroom veroorzaakt, draagt den naam: *electro-magnetische inductie.*
Vr. — Kortom, de eerste spoel ben jij, de tweede ben ik. Jouw gedachtenstroom brengt door het geluidsveld van onze stemmen een stroom gedachten van denzelfden aard voort in mij. En zoo maken wij inductie?
W. — Je gevolgtrekkingen zijn volkomen juist! . . .

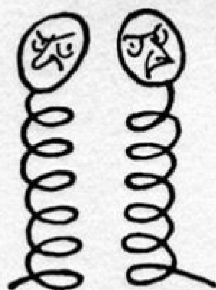




DERDE GESPREK

Terwijl hij de bestudeering van de inductie-verschijnselen voortzet, brengt Weetal zijn neefje er toe de zelfinductie opnieuw te ontdekken, waarvan de inductantie zich verzet tegen den doortocht van wisselstroomen. Vervolgens zullen de twee vrienden aan de hand van zeer duidelijke voorbeelden de eigenschappen van condensatoren onderzoeken. Tijdens het onderzoek van de verschillende factoren, waarvan de capaciteit afhankelijk is, zal Vraagal weer zijn groot bevattingsvermogen doen uitkomen . . .

INDUCTIE = TEGENSPRAAK.



Vr. — Ik heb lang nagedacht over datgene, wat je mij hebt verteld over inductie. Ik heb goed begrepen, dat een stroomverandering in de eene spoel een geïnduceerden stroom voortbrengt in de andere. Maar hoe zijn de richting en de sterkte van dien geïnduceerden stroom?
W. — De geïnduceerde stroom — het moet gezegd worden — heeft een heel leelijk karakter: hij is altijd in tegenspraak met den induceerenden stroom. Als deze laatste toeneemt, gaat de geïnduceerde stroom in tegengestelde richting.
Vr. — Wil dat zeggen, dat als de stroom in de inductie-spoel in de richting van de wijzers van een klok gaat, de geïnduceerde stroom in de tegengestelde richting gaat?

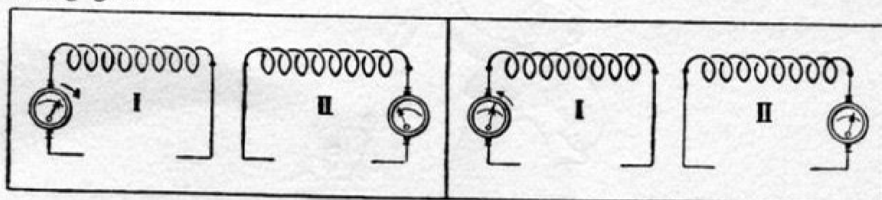
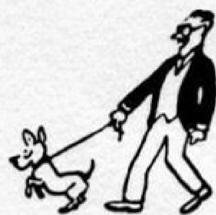


Fig. 8*a*. Als de stroom in spoel I toeneemt, induceert hij in spoel II een stroom van tegengestelde richting.

Fig. 8*b*. Als de stroom in spoel I afneemt, induceert hij in spoel II een stroom in dezelfde richting.



W. — Precies! Neemt daarentegen de induceerende stroom in sterkte af, dan gaat de geïnduceerde stroom in dezelfde richting, precies alsof hij zich tegen die verzwakking van den eersten wil verzetten.
Vr. — Dat is net als met den hond van oome Kees . . .
W. — Weer een mop zeker?
Vr. — Heelemaal niet! Die hond is zoo koppig als een ezel . . . 's Morgens, als mijn oom bezig is met zijn lichaamsoefeningen, loopt hij op een drafje zijn tuin rond met zijn hond aan een riem. In het begin, als oom Kees de beweging versnelt, trekt de hond achteruit en remt verwoed. Maar eindelijk, als oom Kees buiten adem wat langzamer wil gaan loopen, sleept het beest hem mee om krachttoeren van snelheid te leveren . . .



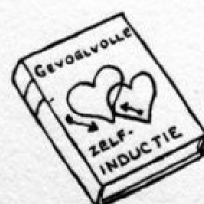
W. — Ik heb zoo'n vaag idee, dat je dat verhaal hebt verzonnen om gelijk te krijgen. Maar het bewijst in ieder geval, dat je het inductieverschijnsel hebt begrepen. Je had er zelfs nog bij kunnen voegen, dat hoe harder of langzamer je oom liep, des te sterker de reactie van den hond was, want de sterkte van den geïnduceerden stroom is evenredig met de snelheid van de verandering van den induceerenden stroom en met de sterkte daarvan.



Vr. — Het is misschien erg dom wat ik nu ga zeggen, maar het schijnt me toe, dat, als de eene spoel een stroom induceert in de windingen van de andere, min of meer verwijderde spoel, zij des te eerder nog een stroom in haar eigen windingen moet induceeren.
W. — Mijn beste Vraagal, je hebt zoo juist de *zelfinductie* opnieuw ontdekt! Mijn compliment daarvoor! Inderdaad ontstaat de geïnduceerde stroom

eveneens in de door den induceerenden stroom doorloopen spoel, waar hij samentreft met laatstgenoemden, en zich door zijn zucht tot tegenwerken verzet tegen diens veranderingen.

Vr. — Dat is dan weer net als in de psychologische romans, waarin een inwendige stem voortdurend argumenten opwerpt tegen de gevoelsdaden van den held.



W. — Je deed beter een goede verhandeling over de electriciteit te lezen. Dan zou je zien, dat de zelfinductie te vergelijken is met de mechanische traagheid. Evenals de traagheid zich verzet tegen het in beweging komen van lichamen en daarna tracht den toestand van beweging te handhaven, zoodra deze eenmaal begonnen is, zoo verzet de zelfinductie zich tegen het ontstaan van een stroom in een spoel (de toenemende stroom wekt een inductiestroom van tegengestelde richting op) en zij probeert den bestaanden stroom te handhaven, als deze wil verdwijnen. (De verdwijnende stroom induceert een stroom in dezelfde richting.)

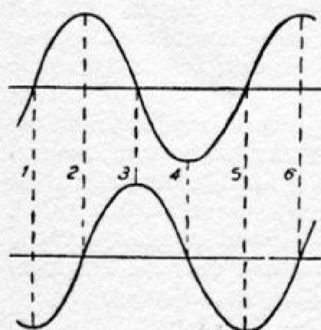
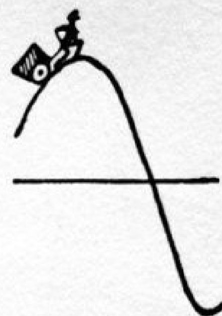


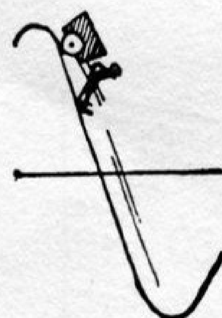
Fig. 9. *Boven:* De wisselstroom. *Beneden:* de stroom, die geïnduceerd wordt door den bovengenoemden wisselstroom.

1. De induceerende stroom neemt snel toe. De geïnduceerde stroom heeft een tegengestelde richting.
2. Gedurende een kort oogenblik verandert de induceerende stroom niet. De inductiestroom is nu gelijk nul.
3. De induceerende stroom neemt af. De inductiestroom gaat in dezelfde richting.
4. Gedurende een kort oogenblik verandert de induceerende stroom niet. De inductiestroom is nu gelijk nul.



Vr. — Dus een wisselstroom, die voortdurend van sterkte verandert, heeft eenige moeite om door een spoel heen te komen?

W. — Zeker, want de zelfinductie verzet zich tegen zijn variaties. Die weerstand van de zelfinductie heet *inductantie.* Je moet hem niet verwarren met den eenvoudigen „Ohmschen" weerstand van den geleider. De inductantie is afhankelijk van de zelfinductie van de spoel, d. w. z. van de inductieve werking van iedere winding op de andere en ook van de frequentie van den stroom.



Vr. — Waarom?

W. — Maar dat is erg eenvoudig! Hoe grooter de frequentie is, des te sneller zijn de stroomveranderingen, des te sterker zijn bijgevolg de inductiestroomen en des te meer verzetten zij zich tegen die veranderingen.

Vr. — Dus voor de hooge frequenties is de inductantie van een spoel grooter dan voor de lage? Dat is goed, dat ik het weet, want ik zie wel, dat het weer verduiveld ingewikkeld wordt.

W. — En nu heb ik je nog niet eens iets over de condensatoren verteld!

LATEN WIJ HET DAN NU EENS OVER DE CONDENSATOREN HEBBEN!



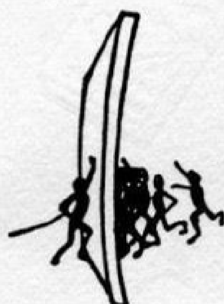
Vr. — Ik weet heel goed, wat dat zijn. Ik heb ze wel eens in een ontvangtoestel gezien. Je zou zeggen, het is een soort pureemolen met ronde messen, die ronddraaien tusschen de vaste messen.

W. — Juist, dat zijn *variabele* of *regelbare condensatoren.* Er bestaan ook andere, *vaste,* waarvan de platen onbeweeglijk zijn, zoodat hun capaciteit constant is.

Vr. — „Capaciteit"?! Waarschijnlijk weer een nieuwe term, die ik leeren en begrijpen moet?

W. — Kijk, mijn beste, een condensator is een zeer eenvoudig ding. Het is een samenstelsel van twee ten opzichte van elkaar geïsoleerde geleiders, waaraan men een zekere spanning geeft.

Vr. — Ik zie nog niet in, waarom twee geleiders, die ten opzichte van elkaar zijn geïsoleerd, den naam *condensator* verdienen.



W. — Een condensator is te vergelijken met twee reservoirs, die van elkaar zijn gescheiden door een gummi-membraan (fig. 10). Een pomp, die gedurende een zeer kort oogenblik in werking is gebracht, veroorzaakt een drukverschil tusschen de reservoirs 1 en 2...

Vr. — Ik zie al, waar je heen wilt. De pomp, dat is de batterij. De reservoirs stellen de condensatorplaten voor en het drukverschil komt overeen met het potentiaalverschil.

W. — Je hebt het geraden. Alleen, zooals met alle vergelijkingen, gaat ook de mijne slechts op tot een zeker punt. Inderdaad, als er sprake is van twee met lucht gevulde reservoirs, zullen wij in 2 veel moleculen hebben, die gelijkelijk over alle punten zijn verdeeld. In 1 zullen we er veel minder hebben, maar ook daar zal hun verdeeling overal gelijk zijn.

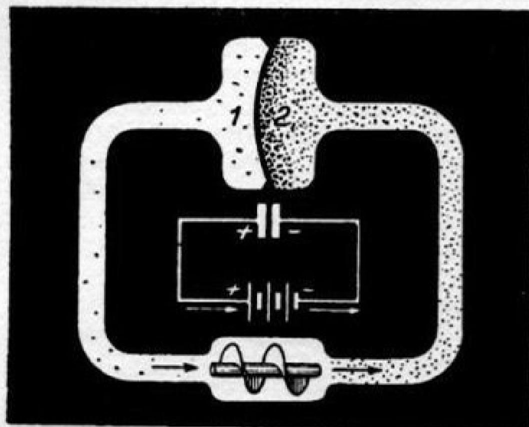
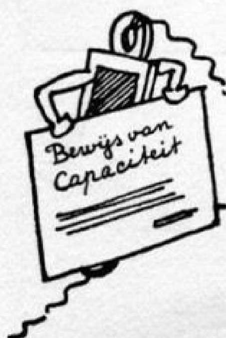


Fig. 10. Twee reservoirs, onderling gescheiden door een elastisch membraan, gelijken op een electrischen condensator. De pomp, die het drukverschil veroorzaakt, komt overeen met een electrische batterij, die een potentiaalverschil doet ontstaan.



Vr. — Mij dunkt, dat ook de electronen zich op dezelfde wijze zullen verdeelen.

W. — Daar vergis je je in. Daar de atomen van plaat 1 positief zijn (een tekort aan electronen!) zullen zij door het dunne schotje, dat hen isoleert, de electronen van plaat 2 aantrekken, zoodat die zich ophoopen in het deel van plaat 2, dat grenst aan 1. Die opeenhooping van electronen maakt het mogelijk op de platen van den condensator veel grootere electrische ladingen op te bergen, dan men zonder die aantrekking van electronen door de positieve atomen had kunnen doen.

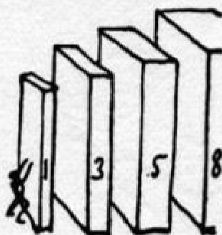


Vr. — Als ik het dus goed heb begrepen, is de voornaamste eigenschap van een condensator het mogelijk maken van een opeenhooping van electrische ladingen op de platen?

W. — Ja, en die eigenschap nu heet de *capaciteit* van den condensator. Waarvan is nu naar jouw meening de waarde afhankelijk?

Vr. — Ik denk, dat vòòr alles de capaciteit afhankelijk is van de dikte van het membraan. Hoe dunner dit is, des te meer kan het doorbuigen en bijgevolg plaatsmaken voor de gasmoleculen in reservoir 2.

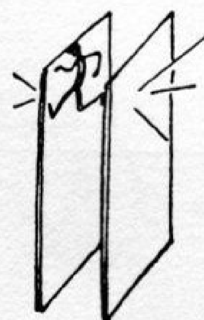
W. — Dat is goed. Voor den condensator zeggen wij, dat de capaciteit omgekeerd evenredig is met den afstand tusschen de platen. Maar, om terug te komen tot onze reservoirs, denk je niet, dat de capaciteit eveneens afhankelijk is van den aard van het elastisch membraan?



Vr. — Natuurlijk! Als het van gummi gemaakt is, is het buigzamer dan wanneer het bijvoorbeeld van blik is.

W. — Bijgevolg is de capaciteit van den condensator ook afhankelijk van den aard van de stof, die zich tusschen de platen bevindt en die het *diëlectricum* genoemd wordt. De specifieke inductiecoëfficiënt, die de meer of minder groote geschiktheid van een diëlectricum aangeeft om de capaciteit te vergrooten, heet de *diëlectrische constante*. Voor lucht heeft men 1 aangenomen. Onder die voorwaarden is bijvoorbeeld de diëlectrische constante van mica: 8. Zoodat, als je in een luchtcondensator van 10 microfarads tusschen de platen blaadjes mica plaatst, de capaciteit zal toenemen tot 80 microfarads.

Vr. — O! Meet men de capaciteit met mi-cro-fa-rads?
W. — De eenheid van maat voor de capaciteit is de *farad* (F). Maar practisch is dat een te groote capaciteit. Daarom maakt men gebruik van onderverdeelingen: *microfarad* (μ F), dat is het millioenste deel van een farad, of *micro-microfarad* (μμ F), dat is het millioenste deel van een microfarad [1].
Vr. — Ik vind het een verdraaid ingewikkeld systeem. Maar, om nog eens terug te komen tot de factoren, waarvan de capaciteit afhankelijk is, mij dunkt, zij is eveneens afhankelijk van de oppervlakte van het membraan, want hoe grooter dit is, des te grooter is de werkingssfeer van de positieve atomen op de electronen [2].
W. — Inderdaad is de capaciteit evenredig met de oppervlakte van de platen.
Vr. — Kortom, om de capaciteit van een condensator te vergrooten, kan men òf de oppervlakte van de platen grooter maken, òf hen dichter bij elkaar plaatsen. Dus ik denk, dat men met zelfs heel kleine platen een groote capaciteit kan verkrijgen door ze heel dicht bij elkaar te brengen.
W. — Dat is erg gevaarlijk! . . . Als je de dikte van het membraan al te klein neemt, komt er een moment, waarop het onder invloed van den druk zal scheuren. Ook kan de spanning tusschen twee te dicht bij elkaar liggende platen een vonk doen overspringen. De al te sterk aangetrokken electronen dringen dan door het diëlectricum heen!
Vr. — Dus een slechte condensator wordt een goede electrische vuursteen!





---

[1]) Vroeger maakte men om de capaciteit te meten ook wel gebruik van een andere eenheid: de centimeter (*cm*), die echter niets gemeen heeft met de lengte-eenheid van dien naam!

1 microfarad = 900 cm.

[2]) De capaciteit *C* van een condensator is gelijk aan:

$$C = 0{,}0885\ K\ \frac{O}{d}\ \text{~~microfarads~~ micro-microfarads}$$

Hierin is *K* de diëlectrische constante; *O* het oppervlak van één der platen in vierkante centimeters; *d* de afstand tusschen de platen in centimeters.

EENIGE SYMBOLEN, ZOOALS ZIJ IN DE RADIOSCHEMA'S WORDEN GEBRUIKT.

BATTERIJ OF ACCUMULATOR	GELIJKSTROOM-BRON	WISSELSTROOM-BRON	MEET-INSTRUMENT	POTENTIOMETER

DETECTOR GELIJK-RICHTER	GLOEIDRAAD	KATHODE	ROOSTER	ANODE OF PLAAT	SCHERM-ROOSTER	DIODE

$1\,F = 9 \times 10^{11}$ e.s.e. van Cap $= 9 \times 10^{11}$ cm

$$C = \frac{KO}{4\pi d}\ \text{e.s.e. v cap} = \frac{1}{9\times10^{11}\times4\pi} \times \frac{KO}{d}\ \text{Farad} = \frac{10^6}{9\times10^{11}\times4\pi} \times \frac{KO}{d}\ \mu F$$

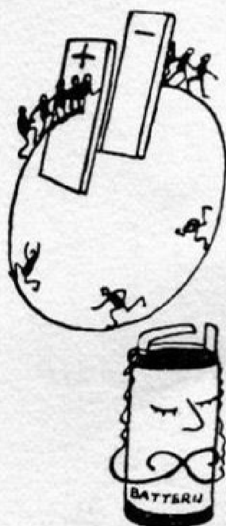
$$= \frac{10^{12}}{9\times10^{11}\times4\pi}\ \frac{KO}{d}\ \mu\mu F = \frac{10}{113.04}\ \frac{KO}{d} = 0{,}0885\ \mu\mu F$$

VIERDE GESPREK

Dit gesprek begint met een ontdekking, waarover Vraagal niet weinig verbaasd is: de wisselstroom gaat door de condensatoren heen! Het is echter een feit, dat ze aan den stroom een zekeren wisselstroomweerstand, „capacitantie" genaamd, in den weg leggen. Vraagal begint verward te raken tusschen de verschillende impedanties. Maar de lezer zal dat slechte voorbeeld niet navolgen en gemakkelijk de verklaringen van Weetal kunnen bijhouden.

DE STROOM GAAT ER DOOR!

Vr. — Den laatsten keer, Weetal, heb je met mij over condensatoren gesproken. Als ik het goed heb begrepen, hoopen zich op de platen electrische ladingen op, als men den condensator met een electrische batterij verbindt.
W. — Dat heb je goed onthouden! Men zegt dan, dat de condensator *geladen* is.
Vr. — Dus op het oogenblik, dat wij den condensator verbinden met een stroombron, staat deze laatste een zekeren laadstroom af. Maar blijft de stroom doorgaan, als de condensator geladen is?



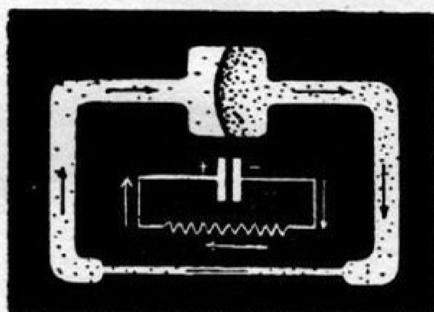


Fig. 11. Ontlading van een condensator door een Ohmschen weerstand.

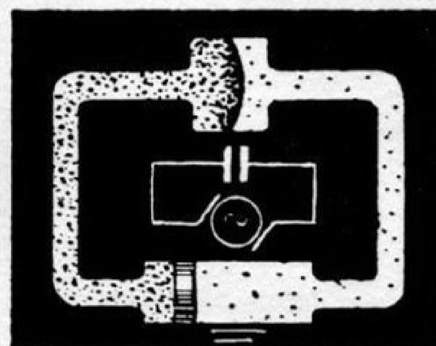


Fig. 12. De loop van den wisselstroom door den condensator.

W. — Neen, die houdt heelemaal op. Maar als je daarna de batterij wegneemt en er een weerstand voor in de plaats stelt, veroorzaak je een *ontlading* van den condensator.
Vr. — Hoe dat zoo?
W. — Doodeenvoudig, doordat je dan aan de overtollige electronen op de negatieve platen de gelegenheid geeft de atomen van de positieve platen, die een tekort aan electronen hebben, aan te vullen. De stroom van heel korten duur, die op dat oogenblik door den weerstand gaat, wordt *ontladingsstroom* genoemd.



Vr. — Dus de condensator is een soort veer, die men kan spannen en die daarna, als men haar loslaat, zichzelf ontspant.
W. — Ik herinner je er aan, dat wij den vorigen keer een dergelijk voorbeeld hebben gebruikt, toen wij den condensator vergeleken met een elastisch tusschenschot, dat twee reservoirs van elkander scheidde. De ontlading van een condensator door een weerstand heen is dan te vergelijken met den druk van het gespannen membraan, die het water door een nauwe buis perst (fig. 11).
Vr. — Het is misschien erg leuk om een condensator te laden en te ontladen, maar eerlijk gezegd, zie ik het nut van dat werk niet in. Als de ontlading eenmaal heeft plaats gehad, is alles uit, niet?

W. — Ja, als je stroombron er een voor gelijkstroom is. Maar niet als je een wisselstroomgenerator gebruikt, d. w. z. een machine, die wisselstroom voortbrengt. Een dergelijke machine kan in ons voorbeeld worden voorgesteld als een zuiger, die voortdurend heen en weer wordt geperst (fig. 12).

Vr. — Ik begrijpt het. Als hij naar het linker- of rechtereinde van den cilinder gaat, laadt de zuiger den condensator, d. w. z. buigt het membraan door; keert hij nu op het middelpunt terug, dan vergemakkelijkt hij de ontlading.

W. — Je ziet nu dus, dat er in onzen „kring" een ononderbroken telkens omkeerende beweging van electronen plaats heeft. Er gaat daar werkelijk een wisselstroom rond.

Vr. — En dat ondanks de aanwezigheid van den condensator, die toch eigenlijk den kring onderbreekt!

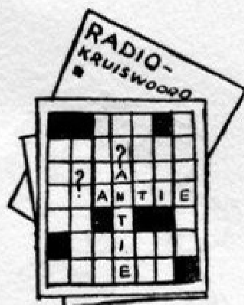


DE VERSCHILLENDE „—ANTIES"...

W. — De electrotechnici durven zelfs te zeggen, dat de wisselstroom *door* den condensator heen gaat. Dat wil echter niet zeggen, dat de electronen door het diëlectricum heendringen, maar alleen, dat de aanwezigheid van een condensator de heen en weer gaande beweging van de electronen, d. w. z. den rondgang van een wisselstroom door den kring, niet verhindert.

Vr. — Ik heb wel even tijd noodig om aan dat idee te wennen. Want toch blijft naar mijn meening het membraan, hoe elastisch het ook moge zijn, een hinderpaal.

W. — Natuurlijk! En daarom heeft men den weerstand, dien het biedt aan den doortocht van den wisselstroom den *capacitieven weerstand* of *capacitantie* genoemd.



Vr. — Wel ja! Al weer een term op -antie. Het wordt een verschrikkelijke „alliantie" van vreemde woorden!

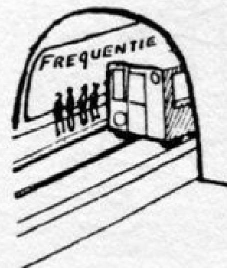
W. — Integendeel, Vraagal, het is eigenlijk allemaal erg eenvoudig. Je zult heel gemakkelijk zelf kunnen raden, van welke factoren die capacitantie afhankelijk is.

Vr. — In de eerste plaats, denk ik, van de grootte van de capaciteit. Hoe elastischer het membraan is, des te meer buigt het door en des te meer electronen laat het dientengevolge aan den eenen kant binnenkomen en aan den anderen kant vertrekken.

W. — Dus naarmate de capaciteit grooter is, gaat de wisselstroom gemakkelijker rond en wij zeggen dan, dat de capacitantie kleiner is.

Vr. — Juist het tegengestelde dus van wat er gebeurt met de inductantie, die toeneemt met de zelfinductie van de spoelen. Maar om op de zaak terug te komen, is de capacitantie niet evenals de inductantie afhankelijk van de frequentie van den wisselstroom?

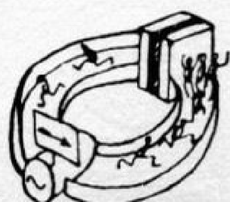
W. — Zeker! Hoe hooger de frequentie is, des te grooter is het aantal ladingen en ontladingen van den condensator per seconde en des te grooter is dus ook het totale aantal electronen, dat per seconde door elk willekeurig punt van den kring gaat.

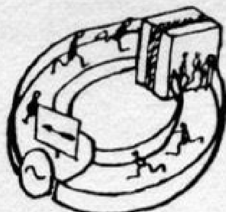


Vr. — Dus de stroomsterkte neemt toe met de frequentie, hetgeen bewijst, dat de capacitantie dan afneemt. Maar, mijn beste Weetal, heb je soms nog meer weerstanden in petto? Ik voel, dat de mijne hard vermindert...

W. — Wees maar gerust, je kent nu de drie soorten van weerstanden, die in de electriciteit worden gebruikt. En om hun eigenschappen nog eens voor je op te sommen, zal ik dit tabelletje voor je teekenen:

Zuivere *Ohmsche weerstand*	Onafhankelijk van de frequentie	
Inductantie of weerstand van een zelfinductie	Evenredig met de zelfinductie	Evenredig met de frequentie
Capacitantie of weerstand van een capaciteit	Omgekeerd evenredig met de capaciteit	Omgekeerd evenredig met de frequentie

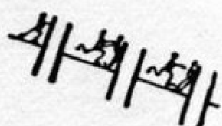




Dit zijn de eenvoudige *impedanties*, dat is de algemeene naam voor alle wisselstroom-weerstanden.

Vr. — En kan men die impedanties nu met elkaar combineeren?

W. — Dat spreekt vanzelf! Overigens, om je de waarheid te zeggen, komt het uiterst zelden voor, dat we slechts met één *zuivere* impedantie te maken hebben. Want het is zoo, dat bijvoorbeeld een spoel, behalve haar zelfinductie, ook steeds een zekeren Ohmschen weerstand heeft, afhankelijk van de lengte, de doorsnede en het materiaal van den draad. De spoel heeft ook een zekere eigen capaciteit te danken aan de onderlinge nabijheid van haar windingen, die dezelfde rol spelen als condensatorplaatjes. Maar men kan ook heel goed op den weg van den wisselstroom opzettelijk verscheidene impedanties opstellen van verschillenden aard.



HET FAMILIELEVEN VAN DE IMPEDANTIES.



Vr. — In dat geval worden hun waarden zeker bij elkaar geteld?

W. — Helaas zijn de zaken niet zoo eenvoudig! Ten eerste bestaan er twee verschillende manieren om meer dan één impedantie in een stroombaan in te schakelen. De eerste bestaat in het *in serie* schakelen, zoodat zij allemaal door denzelfden stroom doorloopen worden (fig. 13a). De tweede manier is de *parallel-schakeling* (fig. 13b); de hoofdstroom wordt dan in evenveel takstroomen verdeeld als er impedanties parallel geschakeld zijn; in iederen tak zal de stroom dan sterker zijn, naarmate de weerstand kleiner is.

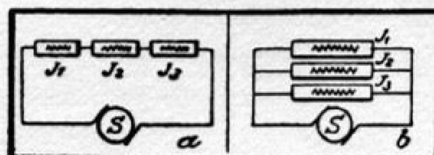


Fig. 13. *a.* „In serie" geschakeld.
b. „Parallel" geschakeld.

Vr. — Dat is als met een groote rivier, die door een eiland in twee kleinere wordt gesplitst; door den tak, waarin de meeste ruimte is, zal het meeste water gaan.

W. — Je begrijpt nu dus, dat twee Ohmsche weerstanden, die in serie zijn geschakeld...



Vr. — ... een gezamenlijken weerstand bieden, die gelijk is aan de som van hun eigen weerstanden.

W. — Uitstekend! En als ze parallel staan?

Vr. — Nou, ik denk, dat de electronen dan gemakkelijker kunnen passeeren. Dan is er als het ware een geleider met een doorsnede, gelijk aan de som van alle doorsneden. De weerstand wordt dus minder. Ik veronderstel, dat het met de inductanties en de capacitanties wel net eender zal zijn!

W. — Daarin vergis je je niet!

Vr. — Dus „in serie" worden de weerstanden, de zelfinducties en de capaciteiten bij elkaar geteld, en „parallel" geschakeld is de totale waarde daarentegen kleiner dan die van elk afzonderlijk.

W. — Je bent een beetje te voortvarend door aan de weerstanden, spoelen en condensatoren dezelfde eigenschappen toe te schrijven als aan hun impedanties. Het is juist, zoolang je spreekt over Ohmsche weerstanden en over zelfinductiespoelen, waarvan de inductantie evenredig is met de zelfinductie. Maar voor de condensatoren gaat dat niet op, want de capacitantie is omgekeerd evenredig met de capaciteit. Dus terwijl de capacitanties in serie bij elkaar geteld worden, verzwakken daarentegen de capaciteiten elkander.

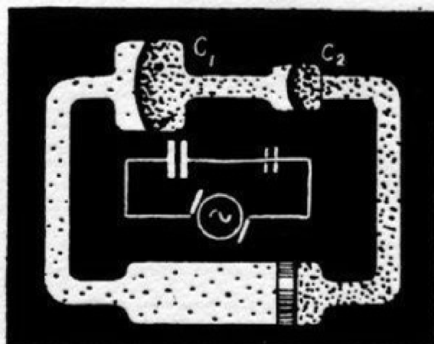
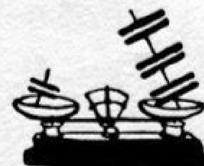


Fig. 14. Serie-schakeling van condensatoren.



Vr. — Wel verdraaid!

W. — Ik zie, dat het absoluut vergeefs is een beroep te doen op je wiskundig gevoel. Kijk (fig. 14), deze twee condensatoren C_1 en C_2 staan in serie geschakeld. Zooals je ziet, heeft C_2 een geringere capaciteit dan C_1, want het membraan is kleiner. De hoeveelheid vloeistof, die de zuiger kan verplaatsen, wordt vooral beperkt door C_2. Wat C_1 aangaat, die veel meer zou kunnen bergen, hij zal niet meer kunnen verzamelen dan C_2 doorlaat, zelfs nog iets minder vanwege de spanning van zijn eigen membraan. Dus in serie is de capaciteit van het stelsel C_1 plus C_2 kleiner dan de capaciteit van C_2 zelf.

Vr. — Ik denk, dat daarentegen bij parallelschakeling de capaciteiten opgeteld worden, want dat komt overeen met de vergrooting van het membraan.

W. — Zoo is het...!



VIJFDE GESPREK

Weetal brengt weer wat meer helderheid in het brein van Vraagal door hem een overzicht te geven van de eigenschappen der weerstanden, zelfinducties en capaciteiten en van hun impedanties, als deze in serie of parallel zijn geschakeld. Vervolgens snijden de beide vrienden het resonantievraagstuk aan, dat een der grondbeginselen van de radio is. Weetal legt vooral den nadruk op enkele punten, die later de studie van de radio-electrische ketens zullen vergemakkelijken.

WEDSTRIJD: ZELFINDUCTIE TEGEN CAPACITEIT.

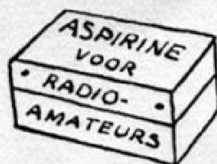


Vr. — Ik ben erg blij je weer te zien, Weetal. Ons laatste gesprek heeft in mijn hoofd zoo'n warboel achtergelaten, dat ik minder dan ooit aan den bouw van het toestel voor je tante durf te beginnen.

W. — Dat was te voorzien. Ik heb daarom voor jou een tabelletje geteekend, waarin de eigenschappen zijn samengevat van de weerstanden, condensatoren en zelfinducties, in serie of parallel geschakeld, mèt hun impedanties (fig. 15).

SERIE	PARALLEL
$R = R_1 + R_2$	$R = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$
$L = L_1 + L_2$	$L = \frac{L_1 \times L_2}{L_1 + L_2}$
$C = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$	$C = C_1 + C_2$
IMPEDANTIES	
$J = J_1 + J_2$	$J = \frac{J_1 \times J_2}{J_1 + J_2}$

Fig. 15. Tabel van de eigenschappen der weerstanden, zelfinducties en capaciteiten en van hun impedanties bij serie- of parallel-schakeling.



Vr. — Daar ben ik je erg dankbaar voor. Dat zal zeker meehelpen om wat orde te scheppen in mijn gedachten, want die slapelooze nachten beginnen mij heusch te verontrusten.

W. — Mijn hemel! Krijg je van de radio . . .

Vr. — . . slapelooze nachten, ja! Ik heb een heelen nacht liggen nadenken, wat het gevolg zou zijn, als ik een condensator en een spoel in serie zou schakelen. Maar ik ben er jammer genoeg niet uit kunnen komen . . .

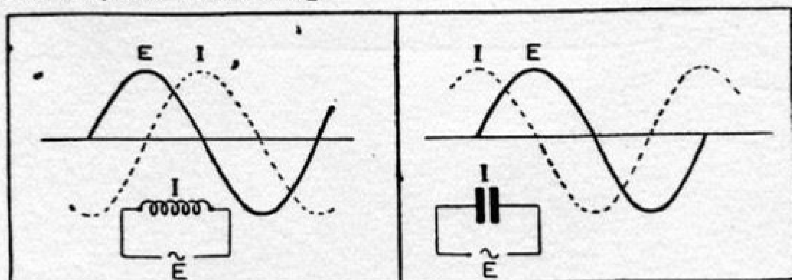
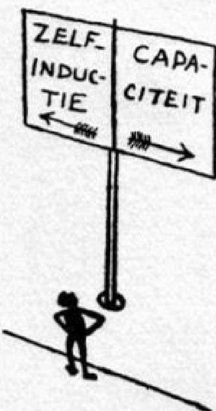


Fig. 16. (*Links*): Phaseverschuiving van den stroom I t. o. v. de door een zelfinductie opgewekte spanning E.

Fig. 17. (*Rechts*): Phaseverschuiving door een capaciteit. De stroom I loopt voor bij de spanning E.



W. — Dat is niet zoo verwonderlijk. Want één ding, dat van buitengewoon belang is, heb ik je nog niet onthuld. Je moet namelijk weten, dat, als een zelfinductie en een capaciteit tezamen weerstand bieden aan den vrijen doortocht van den wisselstroom, deze twee weerstanden in zeker opzicht

in verschillende richtingen werken. Terwijl de zelfinductie met zijn traagheid het optreden van den stroom tegenhoudt, als de spanning aangelegd wordt (men zegt dan, dat de stroom in *phase na-ijlt* bij de spanning), bezit de capaciteit een tegenovergestelde eigenschap: de stroom is het sterkst op het oogenblik, dat de condensator nog niet geladen is, en dus de spanning daarvan nul is; naarmate de condensator wordt geladen en de spanning daarvan (de „tegenspanning'') stijgt, neemt de stroom af.



Vr. — Allemachtig! Dat is zoo! Als het membraan doorgebogen is, houdt alles op en juist op het oogenblik, dat het weer in den platten vorm komt, gaan de meeste electronen rond.

W. — De technici gebruiken een meer deskundig taaltje dan jij, zij zeggen, dat in een capaciteit de stroom in phase voorloopt bij de spanning.

Vr. — Goed! Maar wat gebeurt er als een wisselende spanning wordt aangelegd aan een serie-schakeling van een capaciteit en een zelfinductie...? Ik zou toch graag vannacht weer willen slapen...

W. — Welnu. In dat geval is alles afhankelijk van het onderling verband tusschen den wisselstroom-weerstand van de zelfinductie en dien van de capaciteit. Als de inductantie grooter is dan de capacitantie, zal deze overheerschen en omgekeerd, want de capacitantie moet afgetrokken worden van de inductantie, omdat zij op een lijnrecht tegengestelde manier werkt.

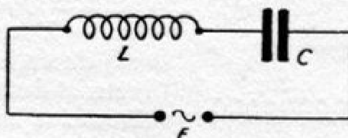


Fig. 18. De zelfinductie L en de capaciteit C zijn in serie geschakeld. Voor de resonantiefrequentie zijn de impedantie en de phase-verschuiving nul.



Vr. — Goed, als dat zoo is, laat ik je dan deze „strikvraag" doen: Stel je voor, dat ik een condensator en een spoel met elkaar in serie heb geschakeld en dat ik daarna een spanning met steeds hoogere frequentie aanleg. Wat gaat er dan gebeuren?

W. — Maar dat weet je heel goed zelf!

Vr. — Inderdaad! Bij de toename van de frequentie zal de inductantie grooter worden en de capacitantie kleiner. Er zal dus noodgedwongen een oogenblik komen, waarop bij een zekere frequentie de inductantie en de capacitantie gelijk zijn. En omdat de eene van de andere afgetrokken moet worden, zal er dan in onzen kring heelemaal geen impedantie zijn?!

W. — Die redeneering is niet slecht. Je vergeet echter, dat de gewone Ohmsche weerstand, die niet afhankelijk is van de frequentie, dan toch in de keten blijft; maar het is waar, dat bij een bepaalde frequentie de inductantie en de capacitantie elkander opheffen en dat er op dat moment geen phaseverschuiving tusschen de spanning en den stroom meer zal zijn.

OVER EEN DRUPPEL, DIE EEN SPOORRAIL DOET BREKEN.



Vr. — Dus op dat moment zal de weerstand van den kring het kleinst zijn en de stroom dientengevolge zijn maximum bereiken?

W. — Natuurlijk! We zeggen dan, dat onze stroom *in resonantie* is.

Vr. — Is dat niet net als die druppel, die een spoorrail kan doen breken?

W. — Wat is dat nu weer voor een uitvinding?

Vr. — Ik heb eens ergens gelezen, dat je een stalen spoorrail in tweeën kan doen breken door hem met beide uiteinden ergens op te leggen en dan er middenop druppels water te laten vallen. Door een zekere regelmaat van de vallende druppels komt de rail in trilling, die tenslotte zoo hevig wordt, dat de rail doorbreekt.

W. — Ja zeker. Dat is een geval van mechanische resonantie. Evenals een kring, die is samengesteld uit een zelfinductiespoel en een condensator, een zekere resonantie-frequentie heeft, waarbij de weerstand snel afneemt, terwijl de stroomschommelingen zeer sterk worden, heeft ook een metalen staaf

met een zeker gewicht (d. i. de zelfinductie) en met een zekere elasticiteit (d. w. z. de capaciteit) een resonantie-frequentie, waarbij de trillingen van die staaf het sterkst worden. Die eerste druppel veroorzaakte maar een heel zwakke trilling, maar de tweede viel op het juiste oogenblik om die eerste te versterken enzoovoort.

Vr. — Ja, nu begrijp ik het. Als de druppels wat vlugger of langzamer zouden vallen, zouden zij de trilling van de staaf niet vergrooten, maar misschien zelfs wel opheffen. Maar bij de resonantie-frequentie worden de uitwerkingen van de afzonderlijke druppels bij elkaar opgeteld tot de staaf eindelijk breekt, als de trillingen te sterk worden.



„PERPETUUM MOBILE"?...

W. — Laten wij nu maar weer tot de electriciteit terugkeeren. Veronderstel nu eens, dat je een condensator hebt en dat je aan de klemmen een zelfinductiespoel verbindt. Wat gaat er dan gebeuren?

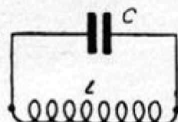


Fig. 19. Een „trillingskring".

Vr. — Dat weet ik heel goed. In ons vorige gesprek hebben wij de ontlading van een condensator door een weerstand heen al bestudeerd. Welnu, een spoel is ook een weerstand. Derhalve zal de condensator ontladen worden door de spoel... en dat is alles!

W. — Ziedaar nu het gevaar van al te lichtvaardig aaneengeregen redeneeringen! Mijn waarde neef, je vergeet één

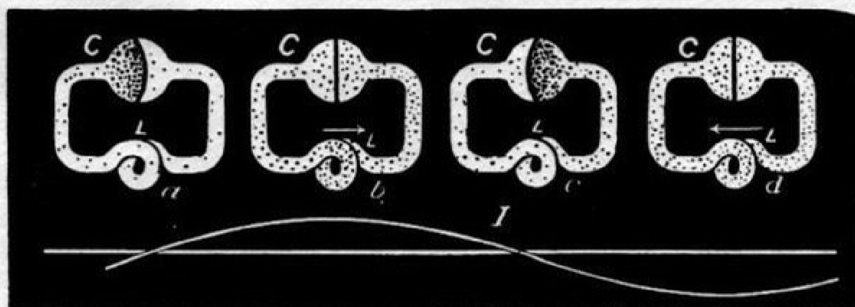
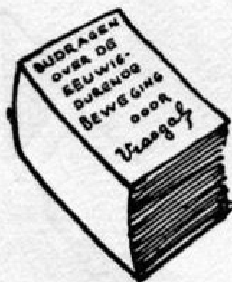


Fig. 20. De beweging van de electronen in den trillingskring gedurende één periode. In *a* en *c* is de stroom nul, maar de spanning aan den condensator C is op haar maximum. In *b* en *d* daarentegen is de stroom maximaal en de spanning aan C nul.



ding: namelijk, dat de zelfinductiespoel zoo'n beetje een bijzondere weerstand is, die te vergelijken is met de traagheid. Evenals de electronen moeite hebben daarin in beweging te komen, is het hun even moeilijk weer tot stilstand te komen. Dus, op het moment, dat de condensator ontladen zou zijn, gaat de electronenstroom nog voort in dezelfde richting en...

Vr. — ... de condensator wordt weer geladen, doch nu met verandering van polariteit. Maar als-t-ie dan weer opnieuw geladen is...?



W. — ... zal hij zich opnieuw ontladen en zoo verder.

Vr. — Dat houdt dus nooit op? Het is dus voldoende den condensator eenmaal te laden, opdat hij zichzelf daarna bij ontlading door een zelfinductiespoel eeuwigdurend weer laadt en ontlaadt?... Dat is dus de eeuwigdurende beweging, het *perpetuum mobile*?!

W. — Draaf niet zoo door! Onze kring heeft toch ook een Ohmschen weerstand. De stroom ondergaat dus een zekere verzwakking om bij iederen doortocht dien weerstand te kunnen overwinnen. De trillingen worden dus hoe langer hoe zwakker en houden tenslotte heelemaal op.

Vr. — Eigenlijk is dat dus net als met een slinger. Het is voldoende hem een eerste duwtje te geven, opdat hij heen en weer gaat slingeren tot alle energie is verloren door den weerstand van de lucht en van het ophangpunt.
W. — Dat is het meest klassieke voorbeeld, dat je zult vinden in alle boeken over radio-electriciteit; je zult nu misschien gemakkelijk kunnen raden, wat de frequentie is van de trillingen, die in onze keten ontstaan.

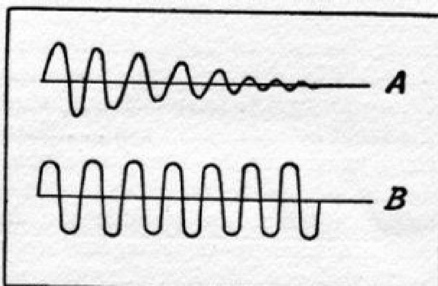
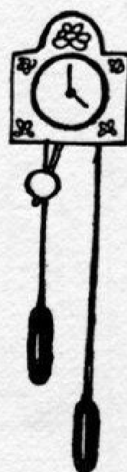


Fig. 21. A: Gedempte trilling.
B: Ongedempte trilling.



Vr. — Ik denk, dat de electronen verstandig en traag genoeg zijn om de wet van minimum inspanning te volgen. Daarvoor behoeven zij slechts te trillen in de resonantie-frequentie van de keten, de frequentie, bij welke de impedantie de laagste waarde heeft.
W. — Dat is precies, wat zij doen! Dus, in een kring, die bestaat uit een zelfinductie en een capaciteit, en dien wij *trillingskring* of *-keten* noemen, veroorzaakt de ontlading van den condensator *gedempte trillingen* (een wisselstroom met afnemende amplitudo) met de *eigen-* of *resonantie-frequentie* van dien kring.

DE GROOTE EN DE KLEINE KRING.

Vr. — Bestaat er geen middel om die trillingen onbeperkt aan den gang te houden?
W. — Zeker! Men verkrijgt trillingen met een constante amplitudo (*ongedempte trillingen*), als men aan iedere trilling het energie-verlies teruggeeft door van buitenaf een kleine hoeveelheid energie bij te voegen.

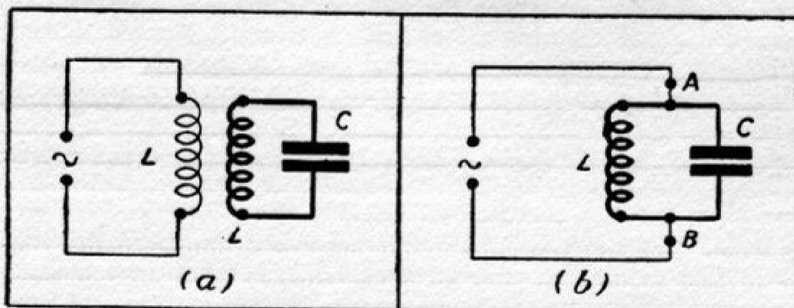


Fig. 22. De trillingskring LC ontvangt de energie hetzij door inductie (bij *a*), hetzij rechtstreeks (bij *b*).



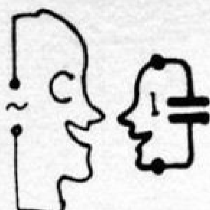
Vr. — Dat kan ik begrijpen, want dat is weer net als bij den slinger van de klok, waaraan de veer bij iedere slingering een lichten duw of impulsie geeft.
W. — Precies! Hiervoor is het voldoende den trillingskring in verbinding te brengen met een anderen kring, waarin een wisselstroom loopt met die resonantie-frequentie. Men kan dat doen door beide inductief te koppelen (fig. 22a) of door den trillingskring onmiddellijk in een anderen kring op te nemen (fig. 22b).
Vr. — Ik denk, dat in beide gevallen alleen een stroom met de resonantie-frequentie een sterken stroom in den trillingskring zal kunnen voortbrengen.
W. — Daarin heb je je niet vergist. Maar wat erg belangrijk is — en daar moet je terdege op letten — is, dat als de trillingskring wordt opgenomen in een anderen kring (fig. 22b), hij daarin een zeer hooge impedantie vormt voor den resonantiestroom.
Vr. — Ja maar . . . neen, nu begrijp ik je niet meer! Je hebt me toch zoo juist

gezegd, dat voor den resonantiestroom de impedantie van den kring de laagste waarde heeft?!

W. — Wat ben je toch een...! Geef je er toch eens rekenschap van, dat wij hier twee totaal verschillende kringen hebben. De eerste, dien ik hier in dikke lijnen teeken, is onze trillingskring (fig. 22b). De andere is de kring, waardoor de wisselstroom met de resonantie-frequentie loopt...

Vr. — Maar waar komt-ie vandaan?

W. — Dat zal je later wel zien, van de antenne of van een anodekring. Maar dat komt er nu niet op aan... Binnen in den trillingskring gaat een stroom rond, waarvoor de impedantie van den kring erg klein is. Maar bekijk nu den in dunne lijnen geteekenden kring eens. Die verandert de zaak. Die kring kan in iedere periode aan den trillingskring slechts die zwakke hoeveelheid energie overdragen, welke deze gedurende dat korte oogenblik heeft verloren. Er kan daar dus slechts een zeer zwakke stroom rondgaan. Wij leiden daaruit af, dat onze trillingskring ten opzichte van den grooten kring de rol vervult van een zeer hooge impedantie.

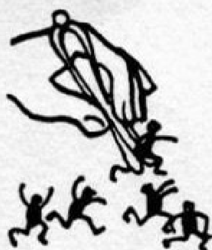


Vr. — Het is verduiveld ingewikkeld; toch heb ik het, geloof ik, wel begrepen.

W. — En onthoud nog een zeer belangrijke gevolgtrekking: omdat de trillingskring een zeer sterke impedantie vormt voor den resonantiestroom van den grooten kring, veroorzaakt die stroom volgens de wet van Ohm een hooge wisselspanning aan de klemmen A en B van den kleinen kring.

Vr. — En wat krijgen we, als we in plaats van de resonantie-frequentie een stroom met een andere frequentie hebben?

W. — In dat geval zullen de *gedwongen trillingen*, die in den trillingskring ontstaan, veel zwakker zijn. Daarentegen zal er een veel lagere impedantie ontstaan voor den stroom in den grooten kring van fig. 22b. Het is zoo, dat als er in den grooten kring verscheidene stroomen met ongelijke frequenties tegelijk loopen, alleen die met de resonantie-frequentie een sterken stroom in den trillingskring zal opwekken, terwijl hij aan de klemmen van dien kring een belangrijke spanning zal doen ontstaan. Je kunt dus uit verschillende stroomen er in zeker opzicht één uitzoeken: dien met de resonantie-frequentie.



Vr. — Ik zou je nog willen vragen, waarvan de resonantie-frequentie afhankelijk is, alsmede de...

W. — Maar ik denk, dat je voor vandaag wel verzadigd bent en dat het beter is de rest tot een volgenden keer uit te stellen. Wij zullen dan kunnen eindigen met al die inleidende begrippen van het terrein der algemeene electriciteit en overgaan tot de eigenlijke radiotechniek.

EENIGE SYMBOLEN, ZOOALS ZIJ IN DE RADIOSCHEMA'S WORDEN GEBRUIKT.

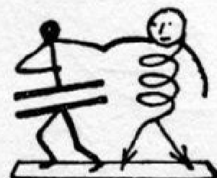
DUBBELE DIODE	TRIODE	DUBBEL-ROOSTER-LAMP	TETRODE MET SCHERM-ROOSTER

PENTODE	HEPTODE	OKTODE

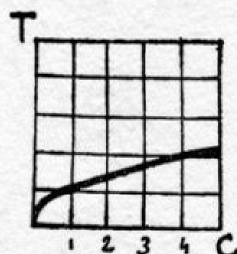
ZESDE GESPREK

De eerste vijf gesprekken hebben Vraagal (en ook U, waarden lezer!) in staat gesteld de onmisbare begrippen van de algemeene electriciteit in zich op te nemen. Nu werpt Vraagal zich, meegesleept door Weetal, op de bestudeering van de radio. Steunend op hetgeen in het vorige gesprek werd geleerd, onderzoeken zij nu het vraagstuk van de selectiviteit en de afstemming van trillingskringen.

VRAAGAL EN DE WISKUNDE.



W. — Toen je mij den vorigen keer verliet, heb je gevraagd van welke factoren de resonantie-frequentie van een trillingskring eigenlijk afhankelijk is.
Vr. — Inderdaad, maar intusschen heb ik over de zaak nagedacht en ik geloof de waarheid gevonden te hebben. Ten eerste bestaat een trillingskring slechts uit een condensator en een spoel. Dus kan het niet anders of de eigen frequentie is alleen afhankelijk van de capaciteit en van de zelfinductie.
W. — Om dat te constateeren behoef je geen Sherlock Holmes te zijn...
Vr. — Zeker niet! Maar ik ben verder gegaan... Wat de capaciteit betreft, hoe grooter deze is, des te langer zal elke lading en ontlading duren. Evenzoo, hoe grooter de zelfinductie is, des te meer zal ze zich verzetten tegen iedere verandering van den stroom en, bijgevolg, de trillingen vertragen. Kortom, de periode van de eigen trillingen van den kring neemt toe bij vergrooting van de capaciteit en van de zelfinductie.



W. — En bijgevolg neemt de frequentie tegelijkertijd af. Ik maak je mijn compliment, Vraagal: je redeneering klopt. Alleen dient er bijgevoegd te worden, dat de frequentie (en dus de periode) niet even snel verandert als de capaciteit of de zelfinductie. Als je wat meer met wiskunde ophad, zou ik je zelfs gezegd hebben, dat de periode evenredig is met den vierkantswortel van de capaciteit en van de zelfinductie [1]).
Vr. — Ach, je weet, dat de wiskunde niets voor mij voelt en dat dat gevoel wederkeerig is. Ik wil je zelfs wel bekennen, op gevaar af, ondankbaar te lijken, dat ik niet erg het nut van al die kwesties over trillingskringen voor de radio inzie.



DE ROOKKRINGEN.



W. — In den loop van ons tweede gesprek heb ik je al eens uitgelegd, dat als door een verticalen draad, *antenne* genaamd, een hoogfrequente stroom gaat...
Vr. — ... zich daar electro-magnetische golven vormen, die zich uitbreiden zooals rookkringen en die wijder worden met de krankzinnige snelheid van 300 000 km per seconde.
W. — Prachtig! Je geheugen takelt nog niet af... Nu, wat zal er gebeuren, als die golven op hun weg een anderen verticalen draad ontmoeten?
Vr. — Ik denk, dat wij hier het principe van het omkeeren der verschijnselen kunnen toepassen en mogen zeggen, dat de golven in den draad, dien zij tegenkomen, hoogfrequente stroomen opwekken.



---

[1]) Als men de zelfinductie L en de capaciteit C kent, leidt men met de formule van Thomson gemakkelijk de periode T af:

$$T = 2\pi\sqrt{L \times C}; \text{ hierin is } \pi = 3{,}14\ldots\ (\pi = \text{pi})$$

Maar... Vraagal houdt niet van formules!



W. — Schitterend! En om de dingen bij hun naam te noemen: we zeggen, dat die golven in de *ontvangantenne* een stroom veroorzaken, overeenkomstig aan dien, welke in de zendantenne loopt. Hij is natuurlijk veel zwakker, want naarmate zij verder van den zender komen, verzwakken de golven.
Vr. — Zooals die rookkringen, als ze wijder worden.

VRAAGAL IS BANG VOOR ELECTROCUTIE.

W. — Maar denk nu eens aan dit belangrijke feit: er zijn op ieder moment overal in de wereld verscheidene tientallen radiozenders in werking.
Vr. — Je wilt toch niet zeggen, dat ze allemaal stroomen opwekken in onverschillig welk stukje draad?!
W. — Ja zeker! Wees er van overtuigd, dat door jouzelf, hoewel je een slechte geleider bent, op dit oogenblik eenige tientallen hoogfrequente stroomen gaan.
Vr. — Dat is niet erg prettig om te hooren! Je had beter gedaan mij daar maar niets van te zeggen! Ik voel echter nog niets...
W. — Natuurlijk niet! Want die stroomen zijn heel erg zwak. Bovendien, terwijl gelijk- en wisselstroomen van lage frequentie zich voortplanten door ieder deel van de doorsnede van een geleider, planten de hoogfrequente stroomen zich slechts over de oppervlakte voort. Men noemt dat het *huid-effect.*
Vr. — Dat stelt me weer een beetje gerust... maar er is nog een ander punt, dat mij beangstigend schijnt. Omdat de ontvangantenne de stroomen opvangt van *alle* radiostations, die in werking zijn, zullen wij een verschrikkelijk mengsel hooren van klassieke en moderne muziek, van voordrachten en persberichten, kookpraatjes enzoovoort. Ik zie niet in, wat je er aan hebt om tegelijkertijd Hilversum, Berlijn, Parijs en Londen te ontvangen...

DE SELECTIVITEIT.

W. — Je weet heel goed, dat dit niet zoo is. De radiotoestellen zijn *selectief,* d. w. z. zij zijn in staat om uit die massa stroomen, die door de antenne gaan, diegenen uit te kiezen, die overeenkomt met den gewenschten zender.

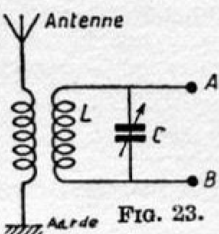


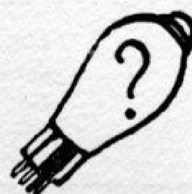
FIG. 23.

Vr. — Op welke manier?
W. — Met behulp van een of meer trillingskringen. De antenne wordt bijvoorbeeld inductief gekoppeld met een trillingskring (fig. 23). We zijn dan teruggekomen bij het geval, dat wij aan het einde van ons vorige gesprek hebben bekeken. Van alle in de antenne aanwezige stroomen zal alleen die met de resonantie-frequentie van den trillingskring LC daarin een stroom induceeren, die een zekere voldoende wisselspanning tusschen de punten A en B zal veroorzaken.



Vr. — Dus de verschillende zenders zijn — als ik het goed begrijp — van elkander te onderscheiden door hun verschillende frequenties.
W. — Zoo is het! De frequentie is voor den zender, wat het nummer is voor een telefoon-abonné.
Vr. — Maar hoe kunnen wij nu naar verkiezing verschillende uitzendingen hooren? De trillingskring heeft toch maar één resonantiefrequentie?
W. — Doodeenvoudig door op verschillende frequenties *af te stemmen.* Om de resonantie-frequentie te veranderen is het voldoende om òf de zelfinductie òf de capaciteit van een kring te wijzigen. Zie je niet, dat er in de teekening door den condensator een pijl is geteekend? In de schema's (teekeningen) duidt een pijl gewoonlijk aan, dat de waarde van dat onderdeel veranderbaar of *variabel* is. Voor deze gelegenheid gebruiken wij een con-

densator met veranderbare capaciteit, of zooals men kortweg zegt: een *veranderbare* of *variabele condensator*.



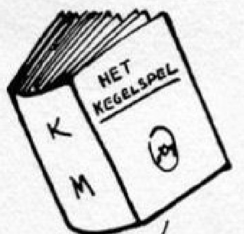
Vr. — Dus in het kort, er zijn in de antenne verscheidene stroomen met verschillende frequenties aanwezig. Door de capaciteit van den variabelen condensator te wijzigen hengel je er telkens één van over in den trillingskring. Wij hebben dan tusschen de punten A en B een wisselspanning en . . . wat doen we daarmee?

W. — Die spanning is gewoonlijk zeer gering en moet dus meestal eerst versterkt worden, voordat men er iets meer mee kan doen. Voor de versterking maakt men gebruik van radiolampen. Maar de geheimen daarvan zullen wij een volgenden keer onderzoeken.



ZEVENDE GESPREK

Om de radio te begrijpen is het vòòr alles van belang de meer-electrodenlamp te kennen, die als het ware het „Manusje-van-alles" in de radiotoestellen is. Getrouw aan zijn belofte zet Weetal nu het mes in deze materie, door de eigenschappen van de eenvoudigste lampen uit te leggen: de diode en de triode. Zoo leert Vraagal achtereenvolgens de rol van de kathode, de anode en van het rooster.



VRAAGAL ORIËNTEERT ZICH.

Vr. — Daar je mij den vorigen keer hebt beloofd over de radiolampen te zullen spreken, heb ik mij een beetje omtrent dat vraagstuk georiënteerd. Door in mijn woordenboek te kijken heb ik al geleerd, dat zij ook „electronenbuizen" en „electronenlampen" genoemd worden.

W. — Prachtig! Nu ben je al aardig op de hoogte . . .! Om nu de inlichtingen van je woordenboek te voltooien, behoef ik er slechts bij te voegen, dat de electronen inderdaad een belangrijke rol in de radiolampen spelen.



Vr. — Houd me nu niet altijd voor den gek, Weetal! Wat doen de electronen in zoo'n lamp?

W. — Zij worden door de kathode uitgezonden (*geëmitteerd* noemt men dat) en nadat zij in het luchtledig een of meer roosters zijn gepasseerd, worden zij door de anode aangetrokken.

Vr. — Hoe langer hoe mooier! . . . Kathode, anode, rooster . . . je kunt me net zoo goed in het Sanskriet de integraalrekening uitleggen.

W. — Laten we dan maar weer bij het begin beginnen. Weet je wat warmte eigenlijk is?

Vr. — Mijn natuurkundeboek zegt met een bescheiden zinspeling, dat de warmte niets anders is dan een snelle en wilde beweging van de moleculen, d. w. z. van de kleinste op zichzelf staande deeltjes van een stof.



W. — En wat doen de electronen in de moleculen van een verwarmde stof?

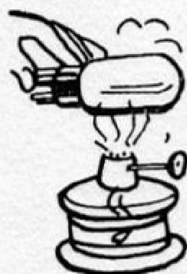
Vr. — Ik denk, dat die electronen vergeleken kunnen worden met reizigers, die in een auto zitten, welke in een snellen rit als krankzinnig heen en weer slingert. De electronen-reizigers worden hevig door elkaar geslingerd en hebben daaronder te lijden.

W. — De wetenschap bezit nog geen inlichtingen over den geestestoestand van de electronen . . ., maar je hebt gelijk met te zeggen, dat zij hevig door elkaar geslingerd worden. Veronderstel nu eens, dat de temperatuur van de stof heel hoog wordt . . .



Vr. — In dat geval wordt de beweging van de electronen-auto's zoo snel en onordelijk, dat er, naar ik vrees, niet zoo heel weinig electronen-reizigers uitgeslingerd zullen worden.

W. — Dat nu noemt men de *electronen-uitzending* of *-emissie* van een lichaam. Brengt men een metaaldraad aan het gloeien, dan zal hij een hoeveelheid electronen afscheiden. Er bestaan nu bepaalde metaal-oxyden, voor welke de electronen-uitzending reeds bij een betrekkelijk lage temperatuur begint.



Vr. — Dat komt, doordat de reizigers in die oxyden zich niet al te stevig aan hun auto's vastklampen. Maar, zeg me eens, op welke manier wil je het metaal verwarmen ten einde de electronen-emissie te verkrijgen?

W. — Alle verwarmingsmiddelen zou men kunnen gebruiken: gas, petroleum, steenkool, electriciteit . . .

Vr. — Zoo zoo! Ik wist niet, dat men radiolampen met petroleum stookte . . .

W. — In de practijk verhit men de *kathode* (zoo noemt men in een lamp die electrode, welke voor de electronen-emissie zorgt) altijd door een electrischen stroom. Maar die stroom — de *gloeistroom* — speelt een zeer onder-

indirecte verhitting!

geschikte rol en zou tenslotte heel goed door een andere warmtebron vervangen kunnen worden. In de moderne lampen vinden wij een gloeidraad evenals in de gewone gloeilamp. Hij wordt tot gloeiing gebracht door een stroom (wisselstroom of gelijkstroom, dat komt er tegenwoordig niet meer op aan!), welke door dien draad heen loopt. Die gloeidraad is omgeven door een isoleerend porceleinen busje, dat de warmte opzamelt en doorgeeft aan een nikkelen buisje, dat het porceleinen busje nauw omhult. Het nikkelen buisje is tenslotte bedekt met een electronen uitzendende of emitteerende laag, die uit verschillende oxyden bestaat en die de eigenlijke *kathode* vormt. De gloeidraad dient alleen om deze kathode op een constante temperatuur te houden.



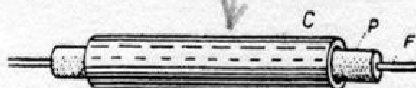
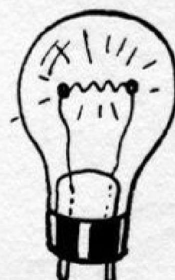


Fig. 24. Samenstelling van een kathode: F = gloeidraad. P = porceleinen busje. C = nikkelen buisje bedekt met de emitteerende laag.

Vr. — Het is dus eigenlijk zooiets als een electrisch comfoor, waarop een ketel staat, die electronen-stoom laat ontsnappen.

W. — Je vergelijking is niet slecht. Merk nu nog op, dat onze uit de heete kathode geslingerde electronen niet ver zullen komen, als ze dadelijk op hun weg luchtmoleculen ontmoeten. Om hun een vrije verplaatsing te verzekeren plaatst men de kathode in een volkomen luchtledig gemaakten glazen bol.



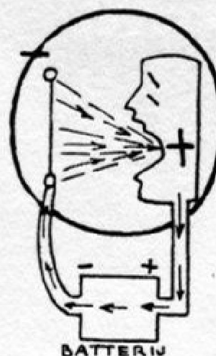
Vr. — Maar waar wil je, dat de electronen heen gaan?

EN HIER IS NU DE DIODE.

W. — Wij gaan in de lamp een electronenval opstellen! Dat is een cilinder (fig. 25), die op een zekeren afstand rondom de kathode wordt geplaatst en die ten opzichte daarvan positief wordt geladen met behulp van een batterij.

Vr. — Mij dunkt, dat ik nu wel kan begrijpen, wat er dan gaat gebeuren. De electronen, die negatieve deeltjes electriciteit zijn, worden door je positief geladen cilinder aangetrokken en zoo zal er een electronenstroom ontstaan van de kathode naar dien cilinder.

W. — Die cilinder in kwestie heet *anode* of *plaat* en de stroom, die van de kathode naar de anode gaat en na door de batterij te zijn



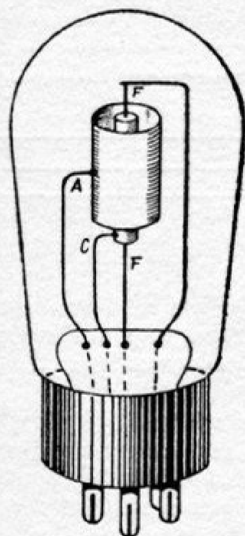


Fig. 25. De *diode*. F = gloeidraad. C = kathode. A = anode of plaat.

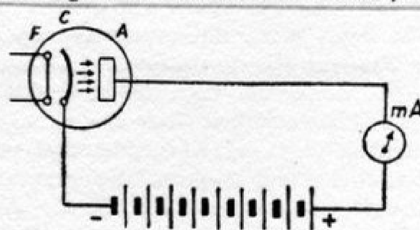
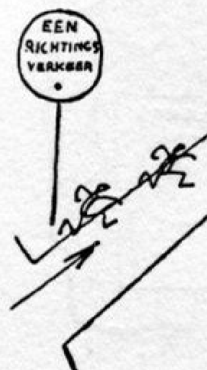
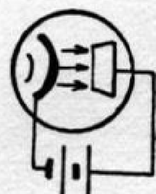


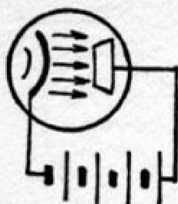
Fig. 26. Door middel van den milliampèremeter mA is het mogelijk den stroom te meten, die van de kathode C naar de anode A gaat.

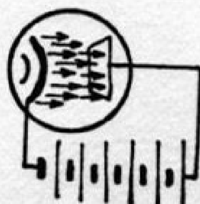


gegaan naar de kathode terugkeert, heet *anode-* of *plaatstroom*. Het bestaan van dien stroom kun je nu vaststellen met behulp van een milli-ampèremeter, dien je in den plaatkring inschakelt (fig. 26).

Vr. — Het is heusch wonderlijk om je in te denken, dat de electronen zich zoo door het luchtledig verplaatsen!... Maar, zeg, als ik nu per ongeluk de batterij verkeerd verbind en dus de kathode positief en de anode negatief maak, zullen de electronen dan van de plaat naar de kathode gaan?
W. — Neen, zeker niet! Want die anode moet koud zijn en zendt derhalve geen electronen uit.
Vr. — Dus onze lamp is voor de electronen, om het zoo eens te zeggen, een straat met eenrichtingsverkeer.
W. — Ja, maar we zeggen het alleen een beetje wetenschappelijker. Men noemt deze twee-electrodenlamp of *diode* een *electronenventiel*.







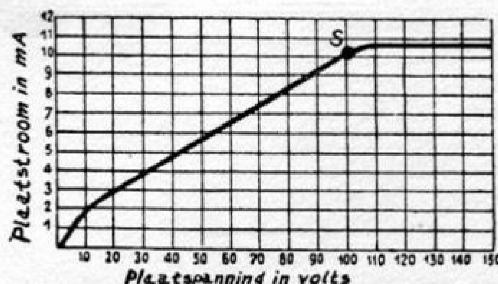
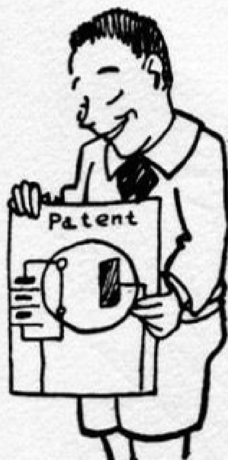


Fig. 27. De kromme toont ons de verandering van den plaatstroom, veroorzaakt door de plaatspanning. Vanaf S begint de verzadiging.

Vr. — Ik veronderstel, dat de stroom in zoo'n diode erg zwak is.
W. — Daarin vergis je je niet, tenminste, voor wat de lampen betreft, die in ontvangtoestellen worden gebruikt. De stroom in die lampen overschrijdt zelden enkele tientallen milli-ampères.
Vr. — En van welke factoren is die stroom afhankelijk?
W. — In de eerste plaats van de spanning, die tusschen de kathode en de anode aangelegd wordt; hoe hooger die spanning des te sterker de stroom.
Vr. — Dat lijkt me tamelijk gewoon: hoe dringender de anode de electronen aanroept, des te talrijker verschijnen zij op het appèl.
W. — Toch is die regel slechts tot aan een bepaalde grens juist: Daarboven zal de stroomsterkte ondanks de vergrooting van de spanning niet meer toenemen.
Vr. — Waarom niet?
W. — Omdat bij een zekere spanning *alle* door de kathode uitgezonden electronen de anode zullen bereiken. Wij hebben dan den *verzadigingsstroom* bereikt, of anders gezegd, den maximalen stroom, dien de kathode kan geven.

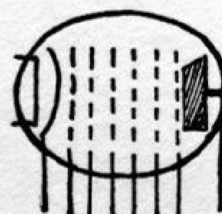
VRAAGAL ONTDEKT AMERIKA!



Vr. — Natuurlijk! De beste kathode van de wereld kan niet meer geven dan zij zelf heeft... Maar wat die kathoden betreft, daar krijg ik een reuze-idee! Ik denk zelfs, dat er octrooi op aangevraagd kan worden...
W. — Zeg me die sensationeele uitvinding maar gauw!
Vr. — Ik denk, dat men de samenstelling van de kathode geweldig zou kunnen vereenvoudigen door den gloeidraad en het emitteerende oppervlak tot één stuk te vereenigen. Het zou voldoende zijn den gloeistroom door een draad te laten loopen, die gemaakt was van een metaal met goede emitteerende eigenschappen. Onder die voorwaarden zou een dergelijke draad, die zichzelf verhitte, ook zelf de electronen uitzenden en een zeer simpele kathode vormen.
W. — Alweer mijn compliment. Vraagal! Je hebt zoojuist de zg. *direct verhitte kathode* uitgevonden, die inderdaad veel eenvoudiger is dan de indirect te verhitten kathode, waarvan ik je de samenstelling heb uitgelegd. Maar... je uitvinding komt een beetje te laat, want de direct verhitte lampen waren reeds lang bekend voor die met indirecte verhitting kwamen. De directe verhitting wordt intusschen nog toegepast in ontvangtoestellen,

Direct verhitte lampen waarbij als gloeistroom wisselstroom wordt gebruikt, vertonen brom.

die door batterijen gevoed worden en ook in bepaalde lampen van ontvangers, die gevoed worden door den stroom van het lichtnet.
Vr. — Heusch, ik ben te laat geboren, want er is voor mij niets meer uit te vinden!



IN HET DOOLHOF VAN DE ROOSTERS.

W. — Integendeel! Op het gebied van de lampen is er nog ontzettend veel te doen. In de laatste jaren volgen de nieuwe lampmodellen elkaar met een verbijsterende snelheid op. Door het aantal roosters te vergrooten of den vorm en opstelling daarvan te veranderen, zijn de technici er in geslaagd heel interessante lampen te maken.
Vr. — Maar waarvoor dienen eigenlijk die roosters, waarover je nu spreekt?
W. — De roosters — dat zijn als het ware metalen traliewerken met min of meer wijde mazen — worden tusschen de kathode en de anode in den weg van de electronen geplaatst. Uit zuiver meetkundig oogpunt vormen zij geen enkelen hinderpaal voor den doortocht van de electronen. Maar omdat zij veel dichter bij de kathode zijn geplaatst dan de anode, oefenen zij op den electronenstroom een veel grooteren invloed uit dan de anode.

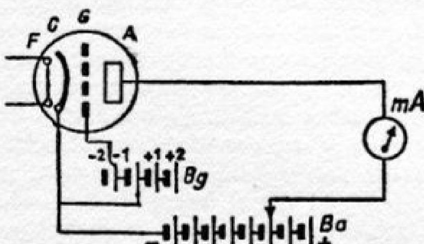
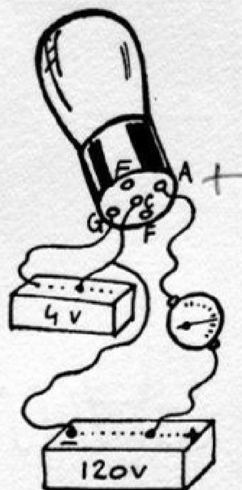


Fig. 28. Dit is een schakeling, die het mogelijk maakt om de verschillende invloeden van de rooster- en plaatspanning op den anodestroom te vergelijken. De roosterbatterij Bg en de plaatbatterij Ba hebben aftakkingen, waardoor men gemakkelijk de gebruikte spanning kan veranderen.

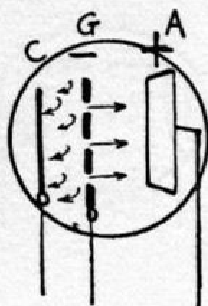


Vr. — Dat is me nog niet erg duidelijk. Over wat voor soort invloed spreek je?
W. — Over den invloed van de roosterspanning op den anodestroom. Laten wij nu eens een lamp nemen, die na de diode de eenvoudigste is: dat is een lamp met één rooster, hetgeen dus met de kathode en de anode tezamen drie electroden vormt. Men noemt zoo'n lamp een *triode*. Naast bijvoorbeeld de moderne *octoden* is zij in zeker opzicht alweer ouderwetsch...
Vr. — Toch geef ik er de voorkeur aan, dat je me eerst eens wat over de triode vertelt. De electronen zijn misschien slim genoeg om hun weg te vinden door acht of misschien zelfs nog meer electroden heen, maar ik vind het allemaal nog verdraaid ingewikkeld!



W. — Je zult straks zien, dat het eigenlijk erg eenvoudig is... Om je duidelijk te maken wat in een triode de invloed is van het rooster op den anodestroom, ga ik tusschen de kathode en het rooster een kleine batterij Bg plaatsen, die met de kathode is verbonden door een in het midden gemaakte aftakking (fig. 28). Zoo kan ik aan het rooster ten opzichte van de kathode een negatieve of positieve spanning geven, door het aan den linker- of aan den rechterkant van de aftakking voor de batterij te verbinden. Op die manier kan ik de roosterspanning t. o. v. de kathode laten variëeren tusschen — 2 en + 2 V. Eveneens kan de plaatspanning veranderd worden door aftakkingen op de plaatbatterij Ba, waarvan de negatieve pool met de kathode is verbonden.
Vr. — Ik zie, dat je voor de plaat een batterij van 120 V hebt genomen, terwijl je er voor het rooster een van slechts 4 V gebruikt. Waarvoor is dat?
W. — Wel, omdat, zooals je dadelijk zult zien, kleine veranderingen in de roosterspanning op de sterkte van den anodestroom dezelfde uitwerking hebben als groote veranderingen in de plaatspanning. Kijk liever zelf eens: Als we aan de anode + 80 V geven en aan het rooster —2 V, hoe groot is dan de stroom, dien de milli-ampèremeter mA aangeeft?

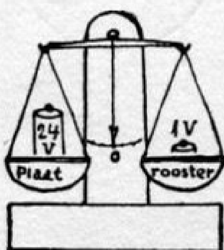
1 mA



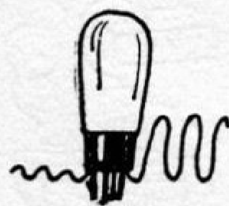
W. — Goed! Nu breng ik het rooster op — 1 V, d. w. z. ik verhoog de potentiaal met 1 V. Nu is de plaatstroom 4 milli-ampères. Hij is dus 3 milli-ampères toegenomen door een verandering van de roosterspanning met 1 V.
Vr. — Ik denk, dat hij toegenomen is, omdat het rooster, dat minder negatief werd, niet meer zoo krachtig de van de kathode weggeslingerde electronen tegenhield.

STEILHEID EN VERSTERKINGSFACTOR.

W. — Dat is goed. Ik wil je nu terloops nog zeggen, dat de verandering, die de anodestroom ondergaat, wanneer de roosterspanning met één volt wordt veranderd, de *steilheid* van de lamp heet en gemeten wordt in milli-ampères per volt (mA/V). Zoo is dus de steilheid van onze triode 3 mA/V, omdat bij een verandering van de roosterspanning met 1 V de plaatstroom met 3 milli-ampères veranderd (toegenomen) is.
Vr. — Maar volgens hetgeen je me vroeger al eens hebt uitgelegd, zouden wij den plaatstroom tot op zekere hoogte ook kunnen vergrooten door de aan de anode gegeven spanning te verhoogen.
W. — Daar kom ik nu op. Laten wij de roosterspanning weer eens brengen op — 2 V en dan den plaatstroom trachten te vergrooten tot op dezelfde waarde van 3 milli-ampères, maar nu door de plaatspanning te veranderen. Dan zie je, dat ik verplicht ben van + 80 op + 104 V te komen, d. w. z. ik moet de plaatspanning verhoogen met 24 V, ten einde hetzelfde effect te verkrijgen, dat de verandering met 1 V van de roosterspanning me reeds gaf.



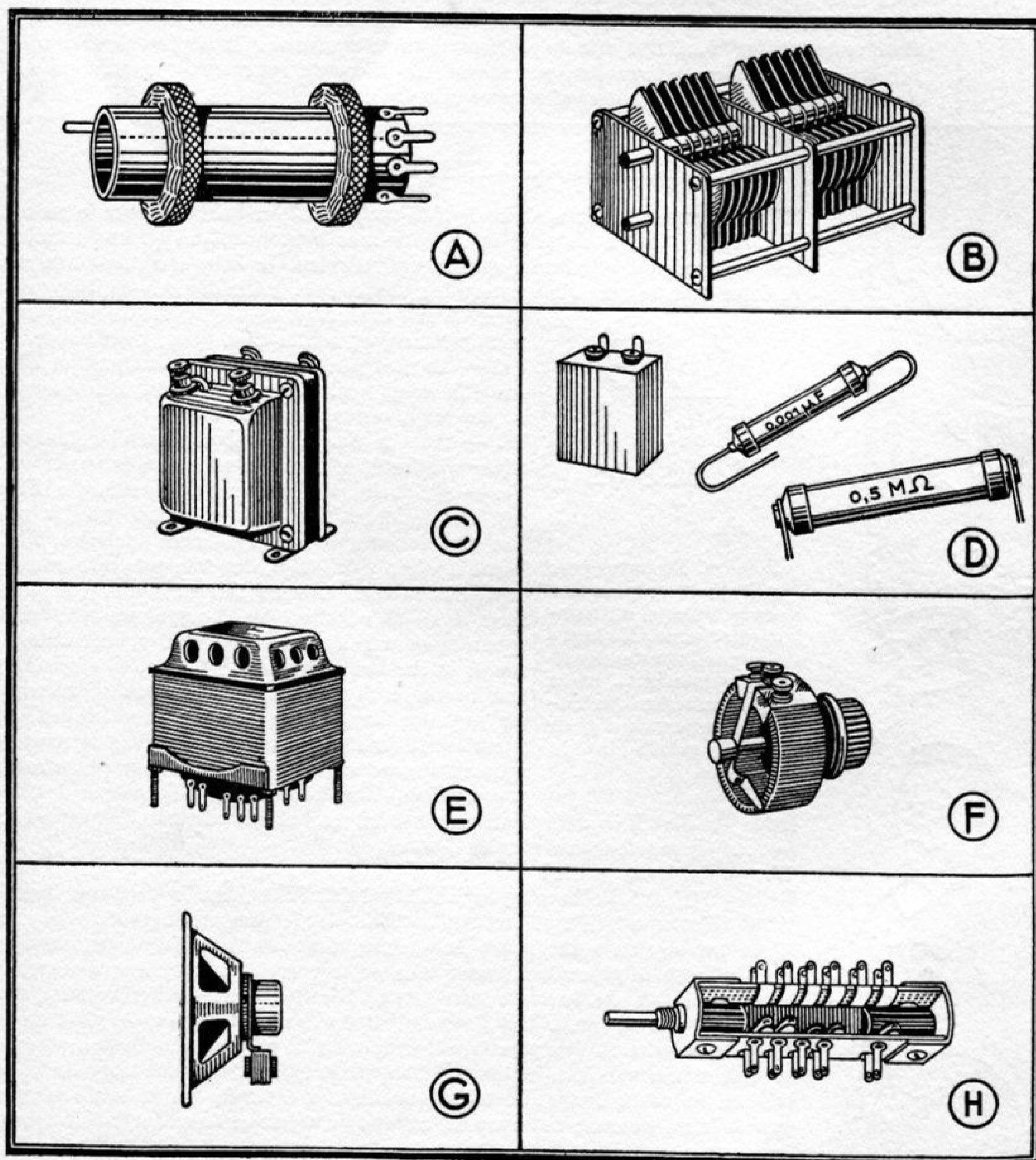
Vr. — Ik zie nu in, wat je me wilde zeggen, toen je uitlegde, dat het rooster op den anodestroom een veel sterkeren invloed uitoefent dan de plaat. Kortom, als het rooster op fluistertoon de electronen roept, heeft dat hetzelfde effect als wanneer de plaat luidkeels schreeuwt.
W. — Je hebt het bij het rechte eind, Vraagal. En het cijfer, dat aangeeft, hoeveel maal de verandering van de plaatspanning grooter is dan de verandering van de roosterspanning voor het verkrijgen van dezelfde verandering in den anodestroom, wordt de *versterkingsfactor* van een lamp genoemd. Wat is nu bijvoorbeeld de versterkingsfactor van onze triode?
Vr. — Laat eens kijken. Wij hebben de plaatspanning met 24 V moeten verhoogen om den plaatstroom 3 milli-ampères te veranderen. Aan den anderen kant hebben we dezelfde verandering verkregen met slechts 1 V op het rooster. Bijgevolg is de verandering van de spanning aan de plaat 24 × zoo groot als die aan het rooster en onze versterkingsfactor zal dus 24 : 1 = 24 zijn!



W. — Uitstekend! Ik zie, dat je het begrepen hebt. En ik hoop, dat je van alles, wat wij vandaag bestudeerd hebben, vooral deze gewichtige gevolgtrekking zult onthouden: *kleine veranderingen in de roosterspanning veroorzaken groote veranderingen in den plaatstroom.*
Vr. — Ik begin te vermoeden, dat dàarom de lampen als versterkers gebruikt kunnen worden.
W. — Daarin vergis je je niet!



EENIGE ONDERDEELEN, DIE IN RADIOTOESTELLEN WORDEN GEBRUIKT.



A. Hoogfrequent-spoel - B. Variabele condensator (tweevoudige) - C. Laagfrequent-transformator D. Twee verschillende typen van vaste condensatoren en een vaste weerstand - E. Voedingstransformator - F. Potentiometer - G. Electro-dynamische luidspreker - H. Meervoudige schakelaar.

ACHTSTE GESPREK

Wat is de „ingang" en de „uitgang" van een lamp? Wat noemt men de „karakteristiek"? Hoe bepaalt men die en hoe is de vorm daarvan? Wat is het „werkpunt" en wat de „negatieve voorspanning"?... Dat zijn de problemen, die Weetal aan zijn neefje uitlegt, terwijl zij de voorwaarden onderzoeken, waaronder een lamp de tusschen het rooster en de kathode aangelegde spanningen zonder vervorming versterkt.

VRAAGAL GEDRAAGT ZICH ERG SLECHT.



W. — Je moeder, Vraagal, heeft zich zoojuist bitter beklaagd over je gedrag. Het schijnt, dat je de tafel in de eetkamer hebt bedolven onder batterijen, lampen, spoelen en allerlei andere onderdeelen. Je hebt een draad aan den radiator van de centrale verwarming verbonden. Jullie dienstbode is nog niet hersteld van den smak, dien zij gemaakt heeft, toen ze met haar voet achter dien draad bleef haken.

Vr. — Ik geef je de verzekering, dat me dat alles tamelijk koud laat. Maar wat ik wel jammer vind, is, dat mijn ontvanger niet werkt.

W. — Heb je dan een ontvangtoestel gebouwd? Maar wie heeft je dan een schema gegeven?!

Vr. — Ik dacht, dat het met de kennis, die ik nu van de radiotechniek heb, niet zoo moeilijk zou zijn geweest om er zelf een samen te stellen. Kijk, hier is het (fig. 29). Je ziet, dat er tusschen de antenne en de aarde een afstemkring aanwezig is. Aan de klemmen A en B ontstaan de hoogfrequente wisselspanningen ten gevolge van den antennestroom, zooals je me hebt uitgelegd. Welnu! Die spanningen breng ik aan tusschen de kathode en het rooster van een lamp. Den vorigen keer hebben wij vastgesteld, dat kleine veranderingen van de roosterspanning groote wijzigingen in den plaatstroom veroorzaken. Zoo krijgen wij dan ook in de telefoon T, die ik in den plaatkring heb ingeschakeld, veranderlijke stroomen en... wij moeten dus muziek hooren.

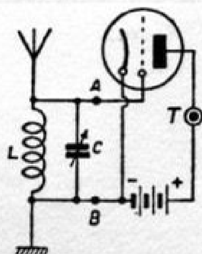


Fig. 29. De ontvanger gebouwd volgens het door Vraagal ontworpen schema. De lamp is goed gemonteerd als versterker... maar de versterkte trillingen veroorzaken geen enkel geluid in de telefoon T!

W. — En hoor je die?

Vr. — Helaas! Ik hoor geen enkel geluid. Misschien is de lamp kapot?

W. — Het wonderlijkste van het geval is, dat je redeneering volkomen juist is... tot op een zeker punt. Inderdaad, om de versterkingseigenschappen van de lamp te gebruiken, moet men de te versterken spanningen tusschen het rooster en de kathode aanleggen. Die twee electroden vormen den „ingang" van de lamp. De „uitgang" bevindt zich tusschen de plaat en de kathode, d. w. z. in den plaatkring, waar men de versterkte trillingen opvangt in den vorm van een veranderlijken plaatstroom. Uit dat oogpunt is je schema in orde. Maar... om verschillende redenen zal je telefoon geen geluid laten hooren; het membraan van je telefoon kan niet op de hooge frequentie van de radio-electrische trillingen trillen.



IN HET RIJK VAN DE KROMME LIJNEN.

Vr. — Wat moeten wij dan doen?

W. — Laat voorloopig je bouwsel maar even rusten en laten wij ons nog eens met de lamp zelf bezighouden. Den vorigen keer hebben we zeer in

het kort de verhouding behandeld, die er bestaat tusschen den plaatstroom en de roosterspanning. Om haar uitvoeriger te leeren kennen zullen wij de schakeling van het apparaat nog eens bekijken, dat wij reeds in ons vorige gesprek hebben gebruikt (fig. 30). Wij zullen nu eens zorgvuldig noteeren hoe de waarde van den plaatstroom voor iedere waarde van de roosterspanning afzonderlijk is.
Vr. — Ik zie, dat bij — 4 V van het rooster de stroom 0 is; het rooster is te negatief en stoot alle electronen terug. Bij — 3 V hebben wij 0,2 mA; bij — 2 V, 1 mA; bij — 1 V, 4 mA; bij 0 V, 7 mA; bij + 1 V, 10 mA; bij + 2 V, 11 mA; bij + 3 V en alle spanningen daarboven blijft het 12 mA en neemt de plaatstroom niet meer toe.

Eg	Ia
−4	0
−3	0,2
−2	1
−1	4
0	7
+1	10
+2	11
+3	12
+4	12

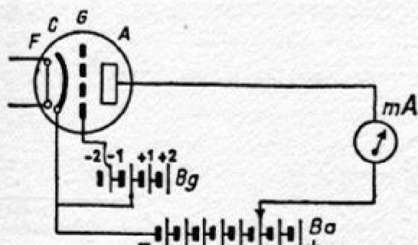


Fig. 30. Een constructie, die het mogelijk maakt de karakteristiek van de lamp op te meten.

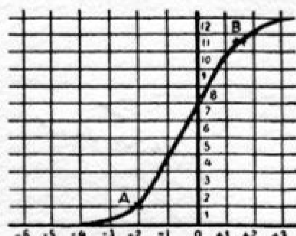
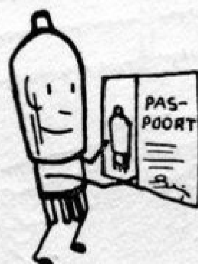
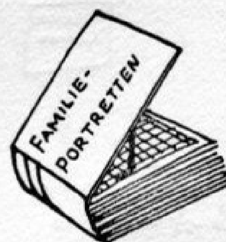


Fig. 31. De karakteristiek van een lamp (een triode).

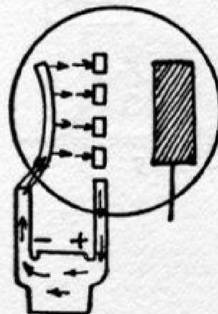


W. — Volgens deze waarden schetsen we nu de *karakteristiek* van de lamp (fig. 31). Die kromme vormt als het ware het paspoort van de lamp. Zij licht ons in over haar eigenschappen en staat ons toe haar zoo goed mogelijk te gebruiken. Men kan bij deze kromme drie verschillende deelen onderscheiden: ten eerste het deel van het linkereinde tot aan het punt A, dat heet de *onderste bocht*. Vervolgens neemt tusschen A en B de stroom evenredig toe met de roosterspanning: dat is het *rechte deel* van de karakteristiek. Tenslotte, bij B te beginnen, krijgen we de *bovenste bocht*, gevolgd door een vrijwel horizontale lijn, die overeenkomt met den verzadigingsstroom: de kathode kan dan niet meer electronen leveren.
Vr. — Zouden we dezelfde kromme gekregen hebben, als we de anode in plaats van 80 V een andere spanning hadden gegeven?
W. — Zeker niet! Als bijvoorbeeld de plaatspanning hooger is, roept de anode de electronen krachtiger tot zich en is bijgevolg, voor dezelfde roosterspanning, de plaatstroom sterker. Men kan zoo een karakteristiek teekenen voor iedere plaatspanning en op die manier verkrijgen we een heelen bundel van karakteristieken (fig. 32).



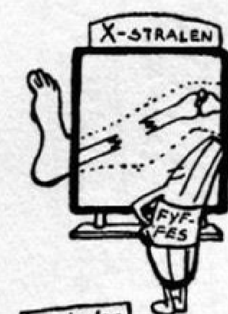
Vr. — Ik zie, dat naarmate de plaatspanning hooger wordt, de karakteristiek zich meer naar links verplaatst.
W. — Men heeft er meestal belang bij hooge plaatspanningen te gebruiken, omdat dan de karakteristiek (en vooral het rechte gedeelte) naar de linkerzijde van het nulpunt van de roosterspanning wordt verplaatst.

HET VERBODEN GEBIED.



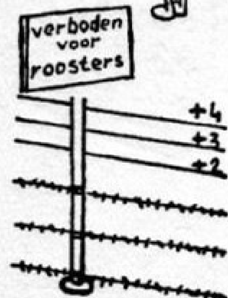
Vr. — Ik moet je bekennen, dat ik het nut daarvan niet erg inzie.
W. — Dat zal je straks wel begrijpen. Onthoud voor het oogenblik, dat men er de voorkeur aan geeft het rooster in het gebied der negatieve spanningen te houden (d. w. z. links van het nulpunt) om het ontstaan van een roosterstroom te vermijden, die zich vormt, zoodra het rooster positief wordt.
Vr. — Een roosterstroom? Wat is dat nu weer...?

W. — Dat is gemakkelijk te begrijpen: als het rooster positief wordt t. o. v. de kathode, gedraagt het zich op dezelfde manier als de plaat en trekt dus electronen aan. Er ontstaat dan een stroom van de kathode naar het rooster, een zeer zwakke stroom weliswaar, maar hij kan onder bepaalde omstandigheden zeer nadeelige gevolgen hebben.



Vr. — Kleine oorzaken, groote gevolgen, zooals mijn oom zei, toen hij over een bananenschil uitgleed en zijn been brak... Maar hoe kan men het rooster binnen het gebied der negatieve spanningen houden, om jouw elegante uitdrukking te gebruiken?

W. — In de eerste plaats, Vraagal, is het noodig, dat je volledig onderscheid weet te maken tusschen de *gemiddelde spanning* van het rooster, of, zooals men zegt, de *plaats van het werkpunt* en de *oogenblikswaarde* van de spanning. De gemiddelde spanning is die, welke aan het rooster wordt gegeven in den rusttoestand, d. w. z. bij afwezigheid van signalen, of anders gezegd, van wisselspanningen.



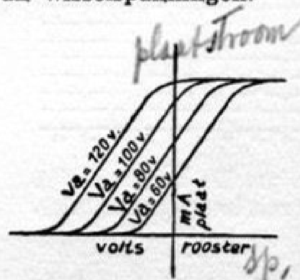


Fig. 32. Een karakteristieken-bundel, waarvan elke kromme bij een bepaalde plaatspanning *Va* behoort.

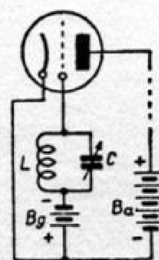


Fig. 33. Het rooster krijgt een negatieve voor-spanning van de batterij *Bg*.

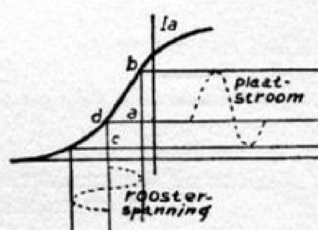
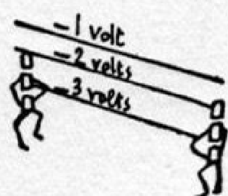
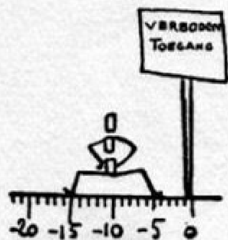


Fig. 34. Als de lamp in de bocht van de karakteristiek werkt, wordt de stroom vervormd.



Vr. — Maar ik denk, dat het rooster normaal dezelfde potentiaal zal moeten hebben als de kathode, d. w. z. nul.

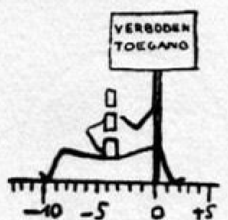
W. — Mis! In de meeste versterkingslampen is het rooster negatief *gepolariseerd* t. o. v. de kathode, d. w. z. men geeft er een zekere negatieve „vòòrspanning" aan, bijvoorbeeld met behulp van een batterijtje, dat geen stroom behoeft te leveren (fig. 33).



Vr. — Ja, ik begrijp het. Dat gebeurt, opdat het rooster binnen het gebied der negatieve spanningen zal blijven.

W. — Juist! Maar behalve die permanente voorspanning worden aan het rooster van een versterkerlamp ook wisselspanningen gegeven. Veronderstel bijvoorbeeld eens, dat we behalve een voorspanning van — 9 V aan het rooster bovendien een wisselspanning geven van 5 V, hoe zullen dan de maximale oogenbliksspanningen van het rooster zijn?

Vr. — Gedurende de negatieve helft van de periode zal het rooster — 9 — 5 = — 14 V bereiken en gedurende de positieve helft — 9 + 5 = — 4 V.

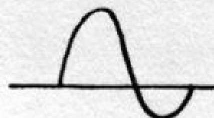


W. — Bravo! Ik zie, dat je toch nog iets van algebra weet!... Veronderstel nu eens, dat het rooster slechts — 3 V negatieve voorspanning krijgt. Als we dan bovendien dezelfde wisselspanning gaven...

Vr. — ... hadden we aan den eenen kant —3 — 5 = — 8 V en aan den anderen kant — 3 + 5 = + 2 V... O! Ik zie, dat we in dat geval op het verboden gebied, namelijk op dat der positieve roosterspanningen zouden komen, met hun roosterstroom en deszelfs nadeelige gevolgen! Bijgevolg is dan de voorspanning, die in het eerste geval voldoende was, dat nu niet meer.

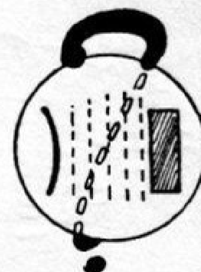


W. — Je gevolgtrekkingen getuigen, dat je goed hebt nagedacht... Ten eerste zien wij dus, dat de aan het rooster gegeven negatieve voorspanning op zijn minst gelijk moet zijn aan de amplitudo van de wisselspanning. Maar aan den anderen kant is er nog een belangrijke voorwaarde, opdat de versterking zonder vervorming kan plaatsvinden: de lamp moet werken in het rechte gedeelte van de karakteristiek.



Vr. — De reden daarvan zie ik niet in.

W. — Wel, om vervorming te vermijden, moeten de variaties van den plaatstroom absoluut evenredig zijn met de variaties van de roosterspanning. Als we nu de lamp in dat rechte deel laten werken, krijgen we die evenredigheid. Maar veronderstel eens (fig. 34), dat de oogenblikksspanningen van het rooster in een krom gedeelte komen. In zoo'n geval zal een positieve afwijking een variatie a—b van den plaatstroom geven, welke grooter is dan die (c—d), welke door de negatieve afwijking wordt veroorzaakt.



Vr. — Ja, de dan verkregen kromme van de plaatspanning is niet symmetrisch zooals die van de roosterspanning.

W. — Zoo is het! Je kent nu dus de voornaamste voorwaarden voor het gebruik van een lamp als versterker.

Vr. — Ja, maar de manier om een ontvangtoestel te bouwen, dat werkt, ken ik nog niet en ik weet nu ook nog niet, waarvoor die ontelbare roosters dienen in de moderne lampen, waarover je me verteld hebt.

W. — Er blijven ons dus nog genoeg onderwerpen voor gesprekken over!



NEGENDE GESPREK

In dit geheel aan de uitzending gewijde gesprek legt Weetal den bouw van den heterodyne-ontvanger of lamp-oscillator en het proces van de muziekmodulatie uit.

DE ZONDERLINGE REIZEN VAN DE L.F.

Vr. — Vergeef me, dat ik daar nog eens op terugkom, maar je hebt mij beloofd me uit te leggen, waarom het toestel, dat ik gebouwd had, niet kon werken.

W. — Daarvoor is het noodig, dat je weet, hoe de vorm van den stroom is, dien de electro-magnetische golven in je antenne induceeren. En daarom ben ik verplicht je in het kort de werking van een radiozender uit te leggen.



Vr. — Ik weet al, dat er een studio is en in die studio een microfoon.

W. — Prachtig! Ik zie, dat je de zaak grondig hebt bestudeerd! Maar weet je ook, wat zoo'n microfoon is?

Vr. — Wel zeker! Er zit er een aan onze telefoon. Onlangs heb ik hem eens opengemaakt en er heel kleine korreltjes kool in gevonden. Sinds dien dag werkt onze telefoon erg slecht...

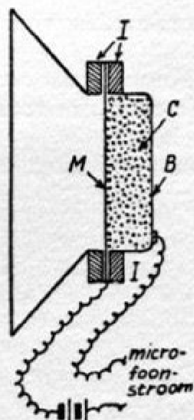


Fig. 35. *Microfoon:* M = membraan. I = isolator. C = kool. B = huls.

W. — Je weet dus, dat een microfoon dient om geluiden op te vangen en om...

Vr. — ... ze om te zetten in een electrischen stroom.

W. — Dat is niet heelemaal juist. Een microfoon bestaat uit een dun membraan, dat door het koolgruis is gescheiden van een metalen huls. De stroom van een batterij gaat van het membraan door de koolkorrels naar de huls. De sterkte van dien stroom hangt vanzelfsprekend af van den weerstand van de kool. Welnu, die weerstand variëert naar gelang van den druk, die door het membraan op de koolkorrels wordt uitgeoefend.

Vr. — Dat begrijp ik: als ze meer samengeperst zijn hebben de korrels een grooter contact-oppervlak en gaat de stroom er gemakkelijker doorheen. Maar waardoor kan de druk van het membraan veranderen?

W. — Door de geluidgolven, die het in trilling brengen. Heb je in je natuurkundelessen niet geleerd, waarde heer, dat het geluid niets anders is dan een trilling van luchtmoleculen, die in de richting van de voortplanting van het geluid trillen in een frequentie, die naar gelang van de *toonhoogte van het geluid* oploopt van circa 16 perioden per seconde voor den laagsten hoorbaren toon tot circa 20 000 p/s voor de hoogste tonen? Sommige geleerden beweren zelfs, dat in dit opzicht bijzonder gevoelige ooren geluid van 40 000 p/s kunnen waarnemen.

Vr. — Dus, als ik je goed begrepen heb, komen de geluidgolven tegen het membraan tikken en terwijl ze dat doen trillen, drukken zij de koolkorrels min of meer tezamen en veranderen zoo de sterkte van den stroom, die daar doorgaat.

W. — Zoo is het! Op die manier brengt de *microfoonstroom* door zijn trillingen getrouw alle trillingen van het geluid over. Overigens hebben we in de radio met den klank slechts te maken aan de uiteinden van de overbrengingsketen, heelemaal aan het begin voor de microfoon en aan het einde voor den luidspreker. Tusschen deze twee wordt het geluid vervangen

door den microfoonstroom, ook *laagfrequente stroom* genoemd, gezien het feit, dat zijn frequentie zeer laag is in verhouding tot die van de stroomen, welke de electro-magnetische golven veroorzaken en die *hoogfrequente stroomen* worden genoemd.



Vr. — De eene narigheid komt weer bij de andere. Voordat ik een nieuw plan bekend wil maken, komt daar al weer een nieuwe moeilijkheid roet in het eten gooien. Ik wilde je namelijk juist voorstellen om den microfoonstroom regelrecht in de zendantenne te sturen, zoodat hij radio-electrische golven zou kunnen vormen ... en nu hoor ik, dat je daarvoor hoogfrequente golven noodig hebt.

W. — Kijk eens hier, Vraagal, de microfoonstroom kan vergeleken worden met een reiziger, die om een verre bestemming te bereiken, gebruik maakt van een trein van hoogfrequente stroomen. Hij neemt daarin plaats op het station van vertrek (den zender) en verlaat hem op het station van aankomst (den ontvanger). Op die manier vervult de hooge frequentie uitsluitend de hulprol van transport- of draagmiddel voor den laagfrequenten reiziger.

Vr. — Wat je me daar uitlegt, is erg eenvoudig, maar in werkelijkheid zal het wel weer verduiveld ingewikkeld zijn, want ik zie heelemaal niet, hoe de lage frequentie op de hooge gaat zitten, door deze laatste getransporteerd wordt en er vervolgens weer afstapt zonder haar zelfs, zooals aan een taxichauffeur, een fooitje te geven.



W. — Toch is ook dat weer heel eenvoudig. Je zult het wel begrijpen, zoodra ik je de werking van de *heterodyne* heb uitgelegd.

HOE EEN STROOM VAN HOOGE FREQUENTIE WORDT OPGEWEKT.

Vr. — In de advertenties van toestelbouwers heb ik gelezen, dat zij „superheterodynes" verkoopen, maar zij spreken nooit over heterodynes. Is dat soms een reclame-truc?

W. — Neen, wees maar gerust. De superheterodyne is een ontvangtoestel, waarover ik je later nog wel een en ander zal vertellen. Daarentegen is de heterodyne een apparaat, dat dient voor de opwekking van hoog- of laagfrequente wisselstroomen. Als de heterodyne sterke stroomen van hooge frequentie voortbrengt en als die stroomen in een antenne gebracht worden, hebben we een radio-zender. Als daarenboven een microfoonstroom met den hoogfrequenten stroom wordt gecombineerd, of zooals men zegt, daarop *moduleert*, dan hebben we een radio*telefonie*-zender.

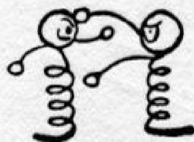


Vr. — Maar ik zou wel willen weten, hoe zoo'n heterodyne er uitziet. Is het een soort van groote wisselstroomdynamo, zooals die, welke men in de electrische centrales ziet?

W. — Wel neen, vriendje! Evenals een goede kok duizend manieren kent om eieren toe te bereiden, weten de radiotechnici de lamp op duizenden verschillende manieren te gebruiken. Hier heb je een zeer eenvoudig schema voor een heterodyne (fig. 36, 1). Wat zie je daar nu in?

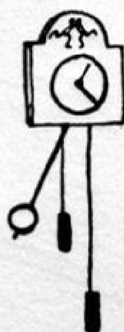
Vr. — Ik zie een trillingskring LC, die tusschen het rooster en de kathode is geschakeld. Bovendien is er een spoel L′ in den plaatkring geschakeld. Tenslotte maakt de batterij Bg het rooster negatief ten opzichte van de kathode.

W. — Let er nu ook nog op, dat de spoelen L en L′ zoo zijn geplaatst, dat er een inductieve koppeling tusschen bestaat. De wikkelingen gaan bovendien in dezelfde richting, d. w. z. dat, als de stroom in L van de kathode naar het rooster gaat, hij in dezelfde richting draait als wanneer hij in L′ van de anode naar de positieve pool van de hoogspanningsbatterij Ba gaat.



Vr. — Dat is allemaal erg duidelijk op je teekening te zien, maar wat is nu het doel van dat alles?
W. — Beschouw nu het oogenblik van het in werking stellen van deze inrichting eens. Wat zal er gebeuren?
Vr. — Niets bijzonders!... De door de kathode uitgezonden electronen worden door de plaat aangetrokken dwars door het rooster heen; vervolgens gaan zij van links naar rechts door de spoel L′ en keeren door de batterij Ba heen naar de kathode terug. Meer zie ik niet.
W. — Maar in werkelijkheid gebeurt er toch nog iets meer, want vergeet niet, dat de spoelen L en L′ inductief zijn gekoppeld.
Vr. — Dat is waar!... Dus op het moment, waarop in de spoel L′ een stroom begint te loopen, die van links naar rechts gaat, zal hij in de spoel L een tegengestelden stroom induceeren, krachtens de zucht tot tegenwerken van de inductie.





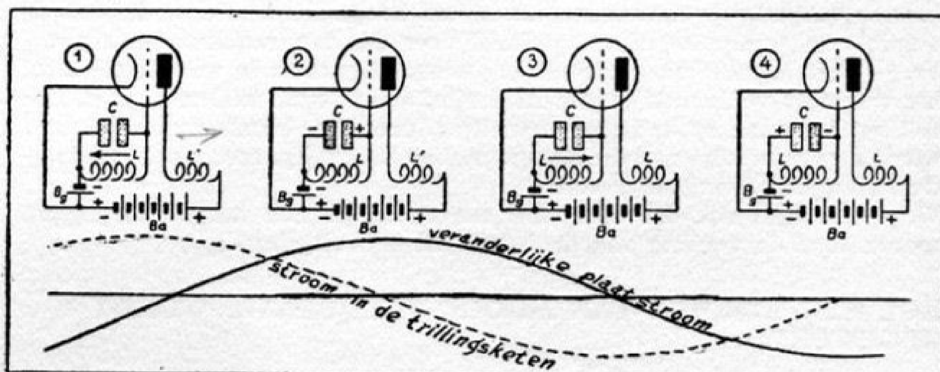
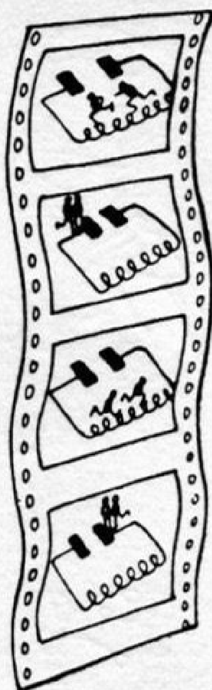
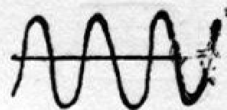


Fig. 36. Vier opvolgende phasen van de trilling van den stroom in de heterodyne. Daaronder de krommen, die de verandering weergeven van den stroom in de plaatspoel L′ en in de roosterspoel L. Let op de verdeeling van de electronen over de platen van condensator C.



W. — Volkomen juist. Omdat de stroom in L′ toeneemt, zal de in L geïnduceerde stroom de tegengestelde richting hebben, om zich op die manier te verzetten tegen de toename van den induceerenden stroom.
Vr. — Nu, die stroom, die in L van rechts naar links gaat, zal electronen meesleepen van het rooster en van de rechterplaat van den condensator C en hen opstapelen op de kathode en op de linkerplaat (fig. 36, 2).
W. — Je ziet dus, dat het rooster meer positief zal worden.
Vr. — Maar dan zal het een nieuwe vergrooting van den plaatstroom veroorzaken, deze zal in L een nog sterkeren stroom induceeren, waardoor het rooster nog meer positief wordt en...
W. — Stop!... Als je zoo doorgaat, spreek je dadelijk over millioenen ampères. Vergeet echter niet, dat de plaatstroom niet oneindig kan aangroeien.
Vr. — O ja, hij wordt beperkt door de waarde van den verzadigingsstroom. Als bijgevolg het rooster voldoende positief is om den plaatstroom zijn verzadigingspunt te laten bereiken, zal hij niet meer toenemen. En daar hij niet meer verandert, zal er geen enkele stroom meer aanwezig zijn in de spoel L.
W. — Totaal mis! Zeker, er is geen door L′ geïnduceerde stroom meer, maar zie je niet, dat op dat oogenblik de condensator C nog geladen is?
Vr. — Inderdaad! Die begint zich dus te ontladen en maakt zoo het rooster meer negatief. Maar, mij dunkt, dat in dat geval de plaatstroom begint te verminderen.
W. — Natuurlijk! En die nieuwe verandering van den stroom in L′ zal in L

een nieuwen stroom induceeren; maar in welke richting zal die nu gaan?
Vr. — Ongetwijfeld van links naar rechts. Ten eerste, omdat je het mij op dien toon vraagt... en ten tweede, omdat, daar de stroom in L′ aan het afnemen is, de stroom in L met zijn lust tot tegenwerken in dezelfde richting zal gaan, d. w. z. van links naar rechts, ten einde zich tegen die vermindering te kunnen verzetten.
W. — Dat is nog eens slim geredeneerd! En zoodoende zullen de zaken, als de condensator C weer ontladen wordt, niet blijven zooals zij staan (fig. 36, 3). De stroom in L′ zal voortgaan in L een stroom te induceeren, die, het rooster hoe langer hoe meer negatief makend, tenslotte den plaatstroom zal doen verdwijnen.



...EN HET SPEL BEGINT VAN VOREN AF AAN...

Vr. — Maar, zooals ik zie, zal op dat oogenblik de condensator C weer opgeladen zijn (fig. 36, 4). Hij begint zich dus weer te ontladen, het rooster wordt weer minder negatief. Er ontstaat dus opnieuw een plaatstroom, die toeneemt en...



W. — ... zoo begint het spel weer van voren af aan! Want zie je dan niet, dat we nu weer op het uitgangspunt van onze redeneering zijn teruggekeerd?
Vr. — Dat is waar. Maar het is toch heusch erg ingewikkeld!
W. — Niet zoo erg! Bekijk nu eens de stroomen in den roosterkring LC en in den plaatkring. Je ziet dan, dat in den roosterkring de stroom in één richting gaat, afneemt, van richting verandert, toeneemt en afneemt, opnieuw van richting verandert, enzoovoort.
Vr. — Dat is dus een wisselstroom.
W. — Zoo is het inderdaad! En van welke frequentie?



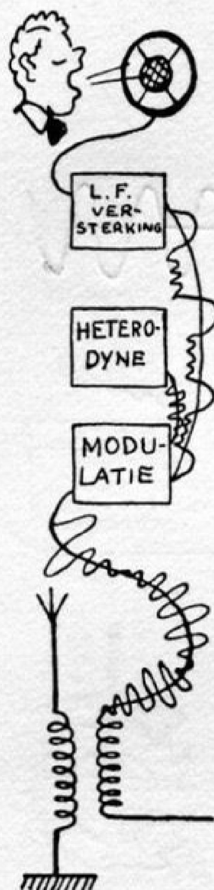
Vr. — Zeker van de eigen frequentie van den trillingskring LC. Want we hebben hier in het kort een afwisselende lading en ontlading van den condensator C dwars door de zelfinductiespoel L, zooals je me dat vroeger al eens hebt uitgelegd.
W. — In orde. Alleen in plaats van telkens zwakker te worden en na enkele trillingen tenslotte op te houden, wordt de wisselstroom in stand gehouden door de voortdurende levering van nieuwe energie, waarvoor de plaatbatterij Ba zorgt door de inductie van L′ op L.
Vr. — Ik geloof wel, dat ik het nu begrepen heb. In 't kort: de electronenbeweging in den trillingskring is, zooals we al eens hebben gezegd, te vergelijken met de beweging van een slinger. En evenals de slinger na een zeker aantal bewegingen zou stilhouden, als er niets gebeurde om die beweging te handhaven, zouden ook de electronen in den trillingskring ophouden afwisselend van de eene plaat van den condensator naar de andere te gaan dwars door de zelfinductiespoel. Om de slingerbeweging te onderhouden is in een uurwerk de gespannen veer noodig, die bij iedere slingering een duwtje aan den slinger geeft. In de heterodyne is het de plaatbatterij Ba, die als het ware de rol van de veer vervult.



W. — En wie speelt de rol van het tandrad?
Vr. — Het rooster!
W. — Vraagal, ik moet je feliciteeren. Ik voorspel je een schitterende carrière in de radiotechniek.
Vr. — Dank je wel! Maar kun je mij nu ook, nu ik weet, hoe de heterodyne de doorloopende hoogfrequente stroomen voortbrengt, uitleggen, hoe de uitzending geschiedt?
W. — Dat is erg eenvoudig. Het gaat er slechts om den wisselstroom aan de antenne door te geven. We doen dat door inductie; we koppelen aan de spoel L een spoel L″, die ingeschakeld is tusschen den antennedraad



en de aardleiding (fig. 37). Door in den plaatkring een stroom-onderbreker — *sein-* of *morsesleutel* genaamd — te plaatsen, kunnen wij korte of lange teekens uitzenden, die overeenkomen met de „punten" en „strepen" van het morse-alfabet. Op die manier verkrijgen we radio-*telegrafie*.
Vr. — Maar ik interesseer me alleen voor de radio-*telefonie*. En je hebt me beloofd te zullen uitleggen, hoe men den laagfrequenten reiziger in den hoogfrequenten stroom brengt.



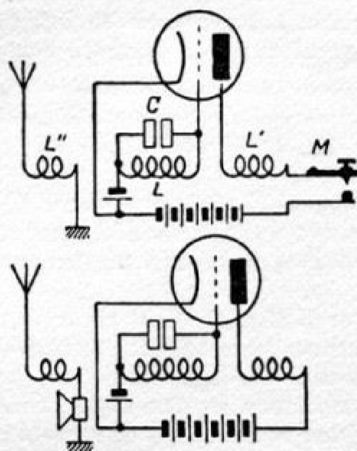


Fig. 37. *Boven:* een radio-telegrafiezender. M = seinsleutel. *Beneden:* een radio-telefoniezender.

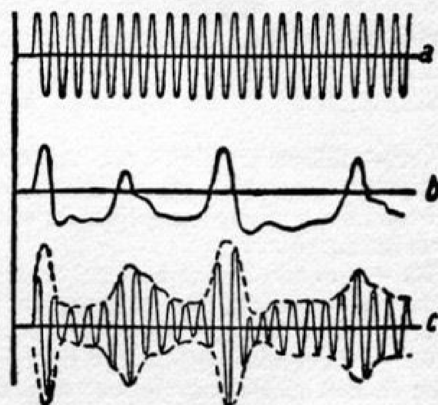


Fig. 38. a. Ongemoduleerde hoogfrequente stroom. b. Laagfrequente modulatie van de microfoon. c. De gemoduleerde hoogfrequente stroom.

W. — Je hebt gelijk. Welnu, dat is gemakkelijk te doen. We zouden bijvoorbeeld de microfoon in den antennekring kunnen plaatsen. Als de weerstand van de microfoon verandert onder de inwerking van de geluidsgolven, zal op zijn beurt de antennestroom in sterkte veranderen. Of anders gezegd: in plaats van een serie ongedempte trillingen met gelijke amplitudo (fig. 38, a) krijgen we een serie trillingen met veranderlijke amplitudo (fig. 38, c). Dat is een *gemoduleerde stroom* van hooge frequentie.
Vr. — Nu begrijp ik het wel. Als de weerstand van de microfoon afneemt, worden de amplituden grooter. En het is die verandering in de amplitudo, die stroomvariaties in de muziekfrequentie vertegenwoordigt.



TIENDE GESPREK

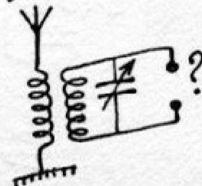
Drie dingen zijn onmisbaar in een tot op het eenvoudigste teruggebrachten ontvanger: een golfontvanger (de antenne), een detector en een telefoon. In dit gesprek beginnen de twee vrienden de rol en de samenstelling van den detector te onderzoeken. Zij beginnen natuurlijk met de eenvoudigste methode: de detectie door middel van een diode. De loodglans- of kristaldetector, die nog altijd vele aanhangers telt, wordt niet vergeten. Ten slotte legt Weetal de „plaatdetectie" uit.

DE AANKOMST VAN DEN TREIN OP HET STATION.



Vr. — Ik neem het je erg kwalijk, beste Weetal, dat je me bij je onderzoekingen hebt laten weggaan juist op het moment, dat het spannend werd. Nadat wij den laatsten keer den „laagfrequenten passagier" naar den „hoogfrequenten trein" hadden gebracht, hebben we het vertreksein gegeven en . . . zoo rijdt onze trein met gemoduleerde hooge frequentie nog steeds verder.

W. — Dan wordt het werkelijk tijd hem te laten stoppen. Je weet trouwens al, dat de golven op het station van aankomst als het ware zelf al stilhouden. Dat is dus in de *ontvangantenne*. In die antenne geven de golven aanleiding tot een gemoduleerden hoogfrequenten stroom, die een getrouwe nabootsing is — hoewel veel zwakker — van den stroom, die in de zendantenne liep.



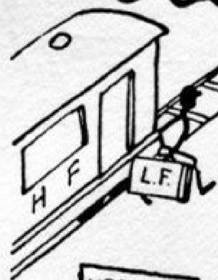
Vr. — Ik herinner mij zelfs, dat we, om een zekere selectiviteit te krijgen, in de ontvangantenne een trillingskring plaatsten (of met de antenne koppelden). Aan de klemmen van dien kring ontstaan dan wisselspanningen. Ik wilde die spanningen doorgeven aan een telefoon, maar jij zegt, dat ik dan niets zal hooren. En, inderdaad, ik hèb ook niets gehoord.



W. — Vandaag zul je gemakkelijk de reden van je mislukking kunnen begrijpen. Vergeet niet, dat je aan de telefoon spanningen van een gemoduleerde hooge frequentie wilde geven. Nu, het membraan van de telefoon is te traag om te trillen met een even hooge frequentie als die, welke wij aanduiden als „hooge frequentie"; de traagheid van het membraan verzet zich daar absoluut tegen.

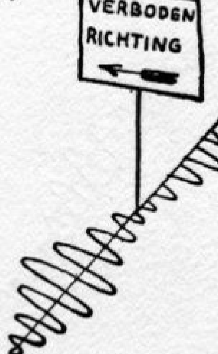
Vr. — Maar als men een membraan zou kunnen fabriceeren, dat zoo licht en zoo dun was, dat het op de hooge frequentie kon trillen . . .?

W. — . . . Ook dan zou je nog niets hooren. Want je oor vergunt je niet om geluiden van een dermate hooge frequentie waar te nemen. En daarbij, een stroom met een dergelijke frequentie kan niet door de wikkelingen van de telefoon heen komen. De zelfinductie daarvan biedt hem een vrijwel onoverkomelijke hindernis.



Vr. — Maar eigenlijk interesseert hij ons minder, die hoogfrequente stroom. Het gaat om de laagfrequente modulatie; die willen wij hoorbaar maken. Wat de hooge frequentie aangaat, haar rol als vervoermiddel is al uit. Ons rest slechts den laagfrequenten passagier te laten uitstappen.

W. — Je hebt volkomen gelijk. En die operatie, welke ten doel heeft de lage frequentie uit den gemoduleerden hoogfrequenten stroom te voorschijn te halen (op te sporen), draagt den naam van *detectie*.

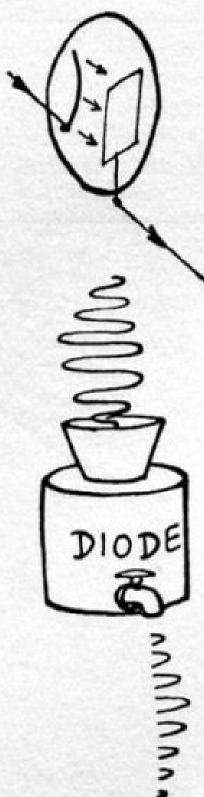


Vr. — Als ik het goed begrijp, is detectie het tegengestelde van modulatie, waarbij wij de lage frequentie *in* de hooge brengen.

W. — Zoo is het! In den gemoduleerden stroom wordt de lage frequentie uitgedrukt door de verandering der amplituden van den hoogfrequenten stroom. Door dezen laatsten weer gelijk te richten doen wij de lage frequentie weer te voorschijn komen. (*Demodulatie.*)

Vr. — Ik zie nog niet erg goed, hoe dat gebeurt.

W. — Toch is het zeer eenvoudig. Om den stroom gelijk te richten is het voldoende op zijn weg een geleider te plaatsen, die slechts in één richting



stroom doorlaat, d. w. z. die den stroom gemakkelijk in de eene richting laat gaan, maar hem verbiedt terug te keeren.
Vr. — Ik begrijp absoluut niet, hoe je een dergelijken geleider-gelijkrichter kunt maken.
W. — Je kent er al een: de *diode*, waarin de electronen wel van de kathode naar de anode kunnen, maar niet terug.
Vr. — Dat is waar... Daar dacht ik niet meer aan.

EN ZIE HIER NU, HOE MEN GELIJKRICHT:

W. — Welnu, in plaats van aan de klemmen van den trillingskring alleen de telefoon te verbinden, zullen we daarmee in serie een diode plaatsen (fig. 39). In dat geval veroorzaken de gemoduleerde hoogfrequente span-

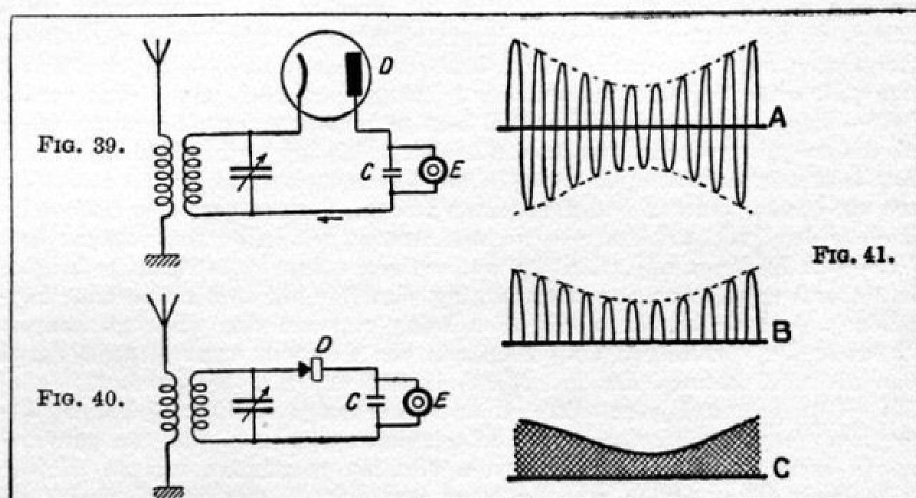


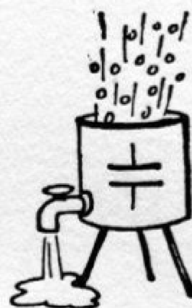
Fig. 39. De diode D maakt het mogelijk de trillingen gelijk te richten, die daarna hoorbaar worden in de telefoon E.
Fig. 40. De kristaldetector D kan voor detectie van zwakke stroomen zorgen.
Fig. 41. A: Gemoduleerde hoogfrequente trilling. B: Dezelfde trilling, maar nu gelijkgericht. C: Een laagfrequent variëerende stroom.

ningen (fig. 41A) dwars door de diode en de telefoon een stroom in één richting (fig. 41B). Zonder diode zouden wij hoogfrequente stooten gehad hebben, die afwisselend in beide richtingen gingen. Dank zij de gelijkrichtende werking van de diode worden slechts die stooten doorgelaten, die in dezelfde richting werken.
Vr. — Eureka! Ik heb het gevonden! ... Omdat ze in dezelfde richting gaan, oefenen ze op het membraan van de telefoon invloeden uit, die bij elkaar geteld, dat membraan min of meer zullen aantrekken. Ik zeg „min of meer", omdat de amplituden van die stooten niet gelijk zijn: zij variëeren en juist in die variatie ligt de lage, muziek- of toonfrequentie, die volgens dat rhythme het membraan van de telefoon in trilling brengt.

HET RESERVOIR: ACCUMULATOR=ELECTRONENVERDEELER.

W. — Je hebt den loop van het verschijnsel in groote lijnen begrepen. Maar in onze redeneeringen hebben we geen rekening gehouden met het feit, dat de stooten, die zelf wel één richting hebben, maar hoogfrequent zijn, niet door de windingen van de telefoon kunnen en wel ten gevolge van de zelfinductie dezer windingen.
Vr. — Wat...! Hooren we nu nòg niets?

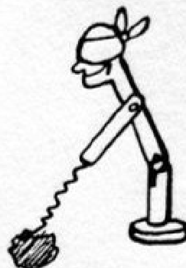
W. — Ja wel, maar op voorwaarde, dat we die stooten optellen, voordat wij ze aan de telefoon doorgeven. Te dien einde verbinden wij aan de klemmen van de telefoon een condensator met kleine capaciteit C (fig. 39), die door de stooten min of meer met electronen wordt opgeladen. In de tusschenpoozen tusschen de korte hoogfrequente stroomstootjes ontlaadt die condensator zich gedeeltelijk door de telefoon heen. De lading is grooter of kleiner al naar gelang de amplitudo van de stootjes. De periodieke stroomstootjes zullen naast de ontladingstroompjes door de telefoon gaan (fig. 41C) en het resultaat is een laagfrequente variëerende stroom.



Vr. — De condensator C speelt dus de rol van een reservoir, waarin de ladingen, die elkaar zeer snel opvolgen, zich opstapelen en dat ze vervolgens telkens weder aflevert.

W. — Je voorstelling is uitstekend. Als we de vergelijking nog verder doorvoeren, kun je den condensator C vergelijken met een regenton, waaruit door de kraan een dikkere of dunnere straal water loopt al naar gelang van de hevigheid van de regenbui.

NU HEEFT VRAAGAL DE DETECTIE BEGREPEN.



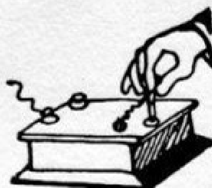
Vr. — Ik zal nu probeeren alles, wat je me over de detectie hebt verteld, samen te vatten. De gemoduleerde hoogfrequente spanningen worden door de diode gelijkgericht. Wij krijgen dan een opeenvolging van hoogfrequente stooten in een en dezelfde richting en met een ongelijke amplitudo. Die stooten laden telkens den condensator C min of meer op, welke condensator aan de telefoon dan een laagfrequenten stroom afstaat ... en dan hooren wij muziek ... Ach had ik maar een diode gehad, dan had dat niet zoo lang geduurd!

W. — Dat is niet bepaald noodig! ... De diode is alleen onmisbaar als het gaat om het gelijkrichten van betrekkelijk hooge spanningen, maar voor lage spanningen is een kristal- of andere contact-detector voldoende (fig. 40).



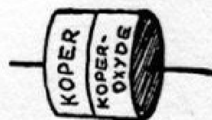
Vr. — Je wilt het waarschijnlijk hebben over den ouderwetschen loodglansdetector, die bestaat uit een kristal van loodglans en een metalen punt, die met lichten druk op de oppervlakte van het kristal drukt?

W. — Dat is niet noodzakelijk. Een contactdetector kan op heel wat manieren samengesteld worden. Zoodra we twee geleiders in contact brengen, die op eenigerlei wijze van elkaar verschillen (verschil in chemische samenstelling of van vorm of temperatuur) is de geleidbaarheid niet meer in beide richtingen dezelfde. En daar er practisch geen twee volkomen gelijke stoffen bestaan, kan men zeggen, dat feitelijk bij alle contacten gelijkrichting optreedt! Maar, sommige contacten bezitten die gelijkrichtende eigenschappen in veel sterkere mate dan andere. Het is inderdaad waar, dat het contact tusschen loodglans en een metaal een uitstekenden gelijkrichter (detector) vormt, die alleen het gebrek heeft slechts een zeer zwakken stroom door te laten en onstabiel van werking te zijn.



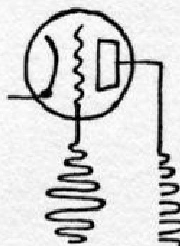
Vr. — O ja, dat weet ik! Maar het is wel een interessant spelletje om het „gevoelige punt" van het kristal op te zoeken.

W. — Er bestaan voorts contacten, die deze fouten niet hebben. Zooals het contact tusschen koper en koperoxyde.



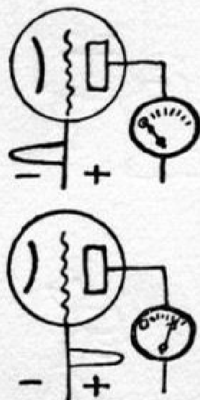
Vr. — Hoe het ook zij, ik zie, dat een detector altijd een gelijkrichter is.

W. — Ja! Toch kan men voor die gelijkrichting ook op een minder directe wijze te werk gaan dan die, welke wij tot nu toe hebben bestudeerd. Daarvoor gebruikt men dan een versterkerlamp, waarvan het rooster van een batterij Vg (fig. 42) een zoo hooge negatieve spanning krijgt, dat de plaatstroom bijna nul is. (Dat is het punt M in de onderste bocht van de karakteristiek in fig. 43.) Men legt de gemoduleerde hoogfrequente spanningen tusschen het rooster en de kathode aan. De positieve halve perioden geven



aanleiding tot het ontstaan van een min of meer sterken plaatstroom. De negatieve halve perioden daarentegen, die het rooster nog meer negatief maken dan het al was, veroorzaken practisch in het geheel geen stroom in den plaatkring.

Vr. — Nu begrijp ik al, wat er gebeurt. In den plaatkring ontstaat een aantal stroomstooten in één richting, die elkaar met de hooge frequentie opvolgen



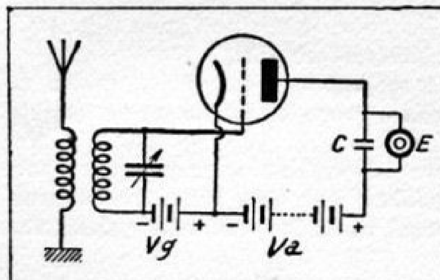


Fig. 42. Schema van de detectie ten gevolge van de bocht in de plaatkarakteristiek.

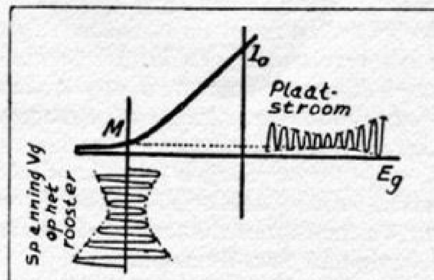


Fig. 43. In het werkpunt M veroorzaken de wisselende roosterspanningen een gelijkgerichten stroom in de plaat.

en waarvan de sterkte variëert. Door den kleinen condensator C is het mogelijk ze op te tellen en terwijl deze zich door de telefoon ontlaadt, voedt hij die met een stroom van lage frequentie, precies als bij de diode-detectie het geval was.

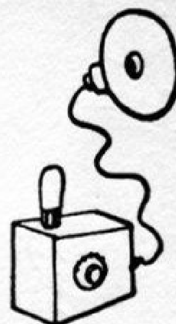
W. — Je hebt ook deze soort van detectie goed gesnapt! De in fig. 42 voorgestelde detectie is de *detectie door middel van de onderste bocht van de plaatkarakteristiek*. Je vrienden zullen waarschijnlijk praten over „roosterdetectie". Maar luister daar niet naar. Dat is een term voor nog een andere soort detectie (door middel van een triode), daarop komen we later nog wel eens terug!



ELFDE GESPREK

Dezen keer is het lange onderhoud van onze beide vrienden geheel gewijd aan de versterking. Na de noodzakelijkheid uiteengezet te hebben, zoowel voor de hoogfrequente als voor de laagfrequente stroomen, geeft Weetal een overzicht van het principe der transformatorkoppeling. Als bijkomstigheid neemt hij de verschillende „voedingsvraagstukken" onderhanden, terwijl hij in het bijzonder de polarisatie-methode uitlegt, zooals die in het algemeen wordt toegepast in de ontvangers, die gevoed worden door den stroom van het lichtnet.

DE VERMOEIENISSEN VAN DE REIS.



Vr. — Dank zij ons laatste gesprek, beste Weetal, weet ik nu eindelijk hoe men bij de detectie te werk gaat, d. w. z. hoe de laagfrequente reiziger uit den hoogfrequenten trein stapt, die hem naar den ontvanger heeft gebracht. Nu hunker ik er naar om met den bouw van een toestel te beginnen, al is het dan maar een zeer eenvoudig, want het zal uitsluitend bestaan uit een afstemkring, een diode-detector en een luidspreker.

W. — Werkelijk, Vraagal, je zit altijd vol onuitvoerbare ideeën! Je luidspreker zal zoo stom als een visch blijven. Vergeet niet, dat je reiziger na een reis gemaakt te hebben met een snelheid van 300 000 km/sec erg vermoeid en verzwakt in de ontvangantenne zal aankomen.

Vr. — Daar is reden voor!



W. — De stroom zal dus te zwak zijn om het membraan van je luidspreker te doen trillen. Hij moet na de detectie weer wat bijkomen en versterkt worden, voordat je hem aan den luidspreker doorgeeft. Daar ligt dus de rol van een *laagfrequent-versterking*, die ten doel heeft de amplitudo van den muziekstroom op te voeren. Maar, als de reiziger van héél ver komt, zal hij zoo uitgeput zijn, dat hij zelfs niet voldoende kracht meer heeft om uit den trein te stappen. Anders gezegd, de stroom, die door de golven in de antenne is teweeggebracht, zal zoo zwak zijn, dat het zelfs niet mogelijk is hem gelijk te richten.



Vr. — Ik denk, dat het dan beter zou zijn den reiziger te versterken, vòòrdat hij uitstapt.

W. — Zoo doet men dan ook. Alvorens hem gelijk te richten, versterkt men den hoogfrequenten stroom, ten einde hem goed te kunnen „gelijkrichten". Dank zij die *hoogfrequent-versterking* slaagt men er in zelfs de zwakste seinen gelijk te richten. Die versterking draagt dus bij tot het verhoogen van de *gevoeligheid* van den ontvanger en bijgevolg van de reikwijdte van de ontvangst.

VRAAGAL FORMULEERT HET VRAAGSTUK.

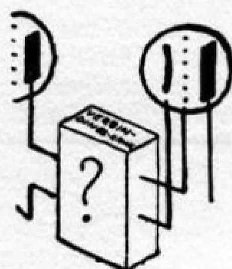


Vr. — Kortom, in een behoorlijk toestel moet zoowel vòòr als nà de detectie versterking worden toegepast (fig. 44). Maar wat de versterking aangaat, daarvan hebben wij, geloof ik, alles al geleerd?

W. — Dat is weer een groote fout, vriend! Je weet heel precies, waarin de rol van de lamp als versterker bestaat. Ik heb je inderdaad uitgelegd, hoe de minste veranderingen van de aan de ingangszijde, d. w. z. tusschen rooster en kathode, gegeven spanningen betrekkelijk groote veranderingen in den plaatstroom veroorzaken. Maar je weet absoluut niet, hoe de koppelingskringen zijn samengesteld, die het mogelijk maken twee op elkaar volgende versterkerlampen te verbinden.

Vr. — Mijn wiskundeleeraar heeft altijd beweerd, dat een duidelijk geformuleerd vraagstuk reeds half is opgelost. Ik ga dus probeeren duidelijk het

probleem uiteen te zetten, dat jij wilt gaan stellen. In de lamp (fig. 45) hebben we een „ingangszijde", dat is het rooster met de kathode. Tusschen die twee electroden brengen we een wisselspanning van hooge of lage fre-



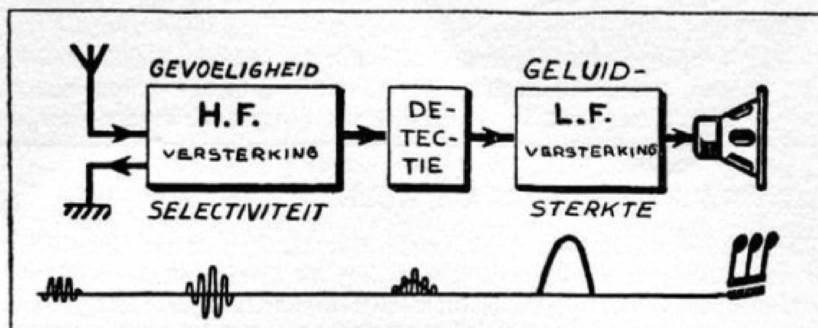
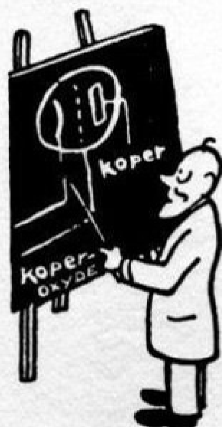


Fig. 44. Het meest „schematische" schema van een ontvangtoestel!



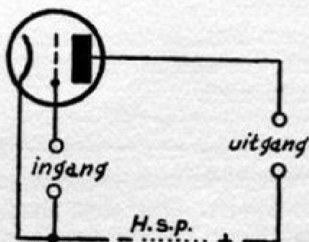


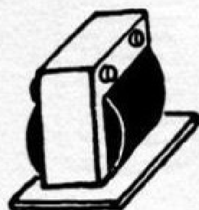
Fig. 45. De vier belangrijkste punten in de lamp: de *ingang* tusschen het rooster en de kathode; de *uitgang* tusschen de anode en de + pool van de hoogspanningsstroombron.

quentie. Aan den anderen kant hebben we een „uitgang", dat is de plaatkring, waar wij tusschen de anode en de positieve pool van de hoogspanningsbron den veranderlijken stroom kunnen gebruiken. Maar wij willen geen veranderlijken *stroom* hebben om op de volgende lamp te laten werken, maar een veranderlijke *spanning*, die wij tusschen het rooster en de kathode van die lamp moeten brengen.

W. — Je bent op den rechten weg van de logica: de conclusie treedt al naar voren: de veranderlijke plaatstroom moet omgevormd worden tot een veranderlijke spanning.

Vr. — Dat is gemakkelijk genoeg gezegd, maar ik zie niet in, door welk hulpmiddel je dat doen wilt.

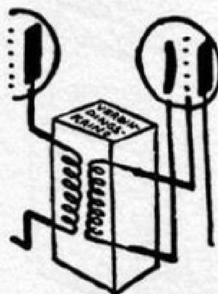
W. — Die omvorming kan geschieden met behulp van een ... *transformator!*



EEN OUDE KENNIS.

Vr. — Wat is dat eigenlijk voor een instrument?

W. — De transformator is een oude bekende van je, van wien je echter den naam niet weet. Zoo noemt men namelijk twee door inductie gekoppelde spoelen. Nu, je weet, dat als door de eerste spoel een veranderlijke stroom loopt, in de andere spoel een stroom van denzelfden vorm wordt geïnduceerd. Als die tweede spoel „open" is (d. w. z. door geen enkelen weerstand is gesloten), zal er geen inductiestroom in loopen, maar alleen een inductiespanning ontstaan. Als dus door de eerste spoel (de *primaire wikkeling* genaamd) een wisselstroom loopt, zullen in de tweede spoel (de *secondaire wikkeling*) de electronen zich voortdurend verplaatsen in het rhythme van den induceerenden stroom en zoo overeenkomstige wisselspanningen veroorzaken tusschen de uiteinden van die wikkeling (fig. 46).



Vr. — O, nu zie ik de oplossing: het is heel eenvoudig voldoende om in den plaatkring van de eerste lamp de primaire wikkeling van een transformator in te schakelen en de secondaire te koppelen tusschen het rooster en de kathode van de tweede lamp (fig. 47). Dan zal door de primaire de

1° transformatorkoppeling

veranderlijke stroom van den plaatkring van de eerste lamp gaan. Deze induceert wisselspanningen tusschen de uiteinden van de secondaire en die spanningen komen dan te liggen tusschen het rooster en de kathode van de tweede lamp . . . zooals de bedoeling is.

W. — Roep niet te vroeg „hei", waarde vriend! Voorloopig heeft ons schema

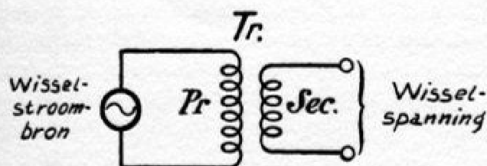


Fig. 46. De wisselstroom, die door de primaire wikkeling *Pr* loopt, induceert een wisselspanning tusschen de klemmen van de secundaire wikkeling *Sec.*

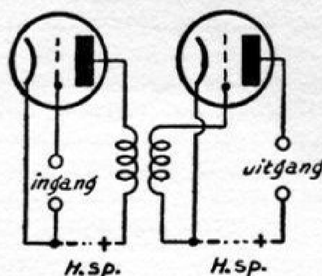
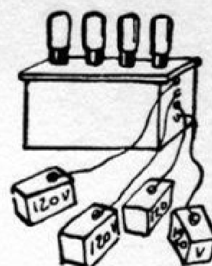


Fig. 47. Transformatorkoppeling tusschen twee versterkerlampen.



nog een ernstig bezwaar: je ziet, dat iedere lamp om te kunnen werken een speciale hoogspanningsstroombron noodig heeft voor het leveren van den plaatstroom. Welnu, die bron is tamelijk duur, hetzij dat het een batterij is of een „plaatstroomapparaat", dat uit het lichtnet wordt gevoed. En als we, bij het voortzetten van de versterking, achter de tweede lamp nog een derde willen schakelen en zoo verder, zullen we weldra evenveel hoogspanningsstroombronnen als lampen noodig hebben en dat zal vrij bezwaarlijk blijken te zijn.



HET VOEDSELVRAAGSTUK!

Vr. — Kan men nu niet voor alle lampen één gemeenschappelijke bron gebruiken?

W. — In werkelijkheid doet men dat ook. Kijk eens hier (fig. 48): Drie versterkingslampen worden door dezelfde hoogspanningsstroombron gevoed. Hun kathoden zijn met de negatieve pool verbonden en de plaatkringen aan de positieve pool.

Vr. — Dat lijkt mij zeer verstandig. In plaats van voor iedere lamp afzonderlijk eten klaar te maken, voedt men ze uit de gemeenschappelijke keuken van het restaurant.

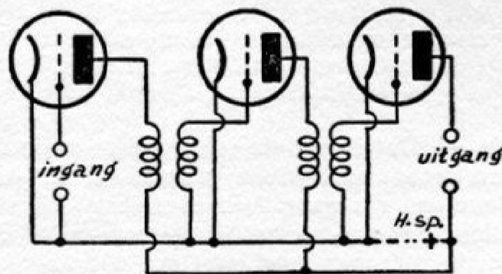


Fig. 48. Voeding van drie lampen door een gemeenschappelijke hoogspanningsstroombron.



W. — Laat mij je, omdat je afdwaalt met je overpeinzingen, er even aan herinneren, dat de voeding van de lamp niet alleen de verhitting van den gloeidraad en de levering van den plaatstroom op hooge spanning omvat, maar ook de polarisatiespanning voor het rooster.

Vr. — Dat is waar! Ik had totaal dat voorgerecht vergeten, waarover je vroeger al eens met me gesproken hebt. Als ik me goed herinner, moet het rooster op een negatieve voorspanning worden gebracht ten opzichte van de kathode, zoodat het werkpunt van de lamp zich in het rechte deel van

haar karakteristiek bevindt en het rooster onder inwerking van de daaraan gegeven wisselspanning op geen enkel oogenblik positief zal worden.
W. — Je vergeet echter, dat het rooster evenmin in het gebogen deel van de karakteristiek mag komen, op straffe van vervorming der te versterken trillingen.
Vr. — En op welke manier maken wij nu het rooster negatief ten opzichte van den gloeidraad? Ik denk, dat het allereenvoudigst zou zijn daarvoor een batterijtje te gebruiken.
W. — Zoo doet men het in de toestellen, waarvan de geheele voeding door batterijen wordt verzorgd. Maar bijna alle moderne toestellen worden door den stroom van het lichtnet gevoed. En om dan de genoemde polarisatiespanning te verkrijgen gebruikt men een even geniaal als eenvoudig middel: men maakt gebruik van het *spanningsverschil* dat door den plaatstroom in een weerstand wordt veroorzaakt.



VRAAGAL STEEKT ZICH IN DE HUID VAN EEN ELECTRON.

Vr. — Zeg mij eerst eens wat een spanningsverschil is.
W. — Als een stroom op zijn tocht een weerstand ontmoet, kunnen de electronen daar slechts met moeite doorheen. Zij hoopen zich als het ware op aan den ingang en zijn minder in getal aan den uitgang van den weerstand. De ingangszijde zal derhalve meer negatief zijn dan de uitgang. De spanning, die aldus wordt verkregen door het passeeren van den stroom door een weerstand heen, heet *spanningsverschil* of *spanningsval* van den stroom. Deze is natuurlijk grooter naarmate de stroom sterker en de weerstand grooter is [1]).



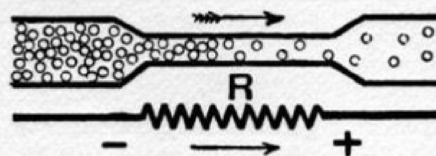


Fig. 49. Bij het passeeren van een weerstand R veroorzaakt de stroom tusschen de eindpunten daarvan een spanningsverschil (drukverschil).

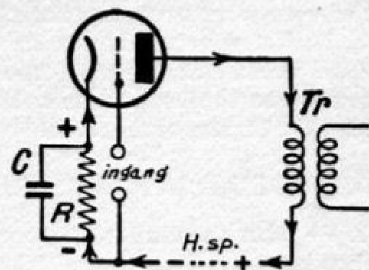


Fig. 50. De plaatstroom, die door den weerstand R gaat, veroorzaakt een spanningsverschil tusschen het rooster en de kathode.

Vr. — Dat is net als een menigte menschen, die door een nauwe gang uit een groote zaal willen vertrekken. Zij vormen dan een opstopping bij de deur van die gang. Wil men daar dan passeeren, dan wordt men eerst in elkaar geperst en eerst als men er eindelijk uit is en weer vrij kan ademhalen, merkt men pas goed, wat een gedrang er was, of wat een spanningsverschil dus . . .
W. — Ik merk, dat je je in gedachte gemakkelijk in de huid van een electron weet te verplaatsen, als ik het zoo eens mag zeggen. Om nu tot de polarisatie terug te keeren: wij plaatsen een weerstand R op het traject van den plaatstroom tusschen de negatieve pool van de hoogspanningsstroombron en de



[1]) De spanningsval (in V) is gelijk aan het product van de stroomsterkte (in A) en den doorloopen weerstand (in Ω): $E = I \times R$.
Dit is een nieuwe formuleering van de wet van Ohm, die wij in ons eerste gesprek aldus gaven: $I = E : R$, en die daar onmiddellijk uit voortvloeit. Als dus een stroom van 3 A door een weerstand van 5 Ω gaat, veroorzaakt hij een spanningsval van $3 \times 5 = 15$ V.

weerstand voor 't verkrijgen van neg. roosterspanning.

kathode (fig. 50). De electronenstroom gaat van de kathode naar de anode, doorloopt den transformator, gaat dwars door de hoogspanningsbron en keert door den weerstand R heen naar de kathode terug. Bij het doorloopen van den weerstand R veroorzaakt hij een spanningsverschil, doordat hij het ondereinde negatief maakt ten opzichte van het boveneinde. Nu, het rooster wordt met het ondereinde verbonden en de kathode met het boveneinde. Zoo zal dan het rooster negatief gepolariseerd worden ten opzichte van de kathode.

Vr. — Dat lijkt erg eenvoudig. Maar waarvoor dient die condensator C, die parallel is geschakeld aan den weerstand R (fig. 50)?

W. — Vergeet niet, dat de plaatstroom van de lamp alleen dan constant is, als de potentiaal van het rooster constant is. Wanneer je aan het rooster een wisselspanning geeft, ontstaan er in den plaatkring stroomveranderingen van dezelfde frequentie. Die veranderingen gaan slechts uiterst moeilijk door den weerstand R heen, terwijl de condensator hun een gemakkelijken doortocht biedt. Men zegt, dat de condensator door den „wisselstroom-component" van den plaatstroom wordt doorloopen.

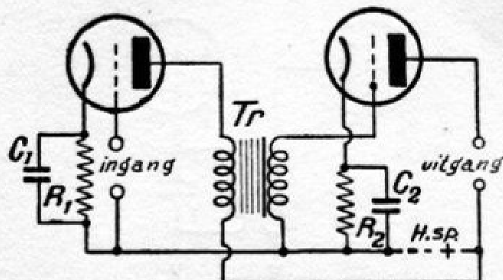
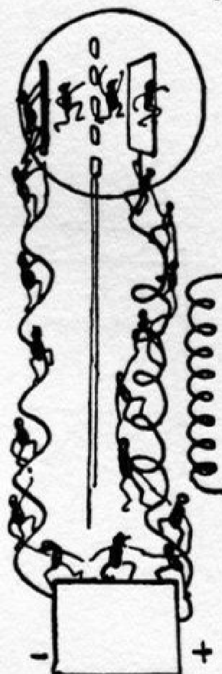


Fig. 51. Een tweelampsversterker met polarisatie van de roosters door de weerstanden R_1 en R_2 („negatieve vòòrspanning").



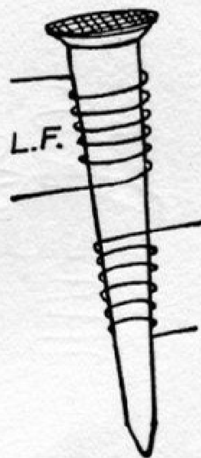
Vr. — Dus een dergelijke polarisatie-inrichting moet in den plaatkring van iedere versterkerlamp ingeschakeld worden?

W. — Ja! Kijk (fig. 51), hier heb ik het schema van twee versterkerlampen, die door een transformator zijn gekoppeld. De eerste wordt met behulp van een weerstand R_1 gepolariseerd, de tweede met behulp van R_2.

H.F.- EN L.F.-TRANSFORMATOREN.

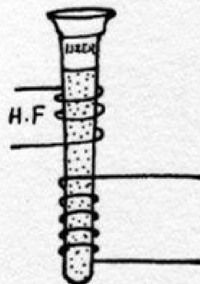
Vr. — En wat beteekenen die evenwijdige lijnen, die je in de teekening tusschen de wikkelingen van den transformator hebt gezet?

W. — Dat is het teeken voor de ijzeren kern, die in den laagfrequent-transformator wordt gebruikt. Omdat ijzer gemakkelijker dan lucht doordrongen wordt door het magnetisch veld, verhoogt men de zelfinductie der wikkelingen door ze om een ijzeren kern aan te brengen. Opdat de wisselstroom van de wikkelingen geen stroomen in het ijzer zal induceeren, maakt men gebruik van kernen, die bestaan uit ten opzichte van elkaar geïsoleerde laagjes ijzer (zg. *lamellen*).



Vr. — En waarom maakt men alleen zulke kernen in laagfrequente transformatoren?

W. — Omdat hoogfrequente stroomen, ten gevolge van de snelheid hunner veranderingen, in het ijzer stroomen geïnduceerd zouden hebben, die evenzoovele verliezen voor den induceerenden stroom zouden beteekenen. Daarom geeft men bij de hooge frequentie veelal de voorkeur aan ijzerlooze transformatoren.



Vr. — Zou men toch die geïnduceerde stroomen niet tot een minimum kunnen terugbrengen, als men aan die kernen een grooteren weerstand gaf? Men zou ze bijvoorbeeld kunnen samenstellen uit uiterst dunne laagjes van geïsoleerd ijzer op elkaar.

W. — Dat doet men al geruimen tijd. Men maakt dan voor hoogfrequente transformatoren gebruik van ijzerpoeder, opgesloten in een isoleerende massa.

Vr. — Kortom, het eenige verschil tusschen de versterking van de hooge en de lage frequentie bestaat, als ik het goed heb begrepen, in de samenstelling van de kern. In het eerste geval gebruikt men lucht of ijzerpoeder. In het tweede geval dunne blaadjes ijzer.

W. — Neen, het verschil is veel grooter. Als we de laagfrequente stroomen versterken, nemen we alle voorzorgen om ze allemaal in dezelfde mate te versterken, opdat alle tonen met hun relatieve sterkte weergegeven zullen worden. Wij hebben er geen enkel belang bij om de eene musicale frequentie



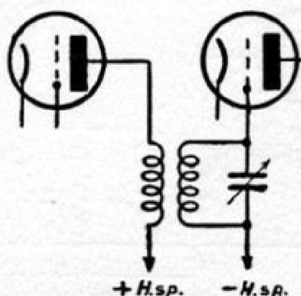


Fig. 52. H.F. transformator-koppeling met afgestemde secondaire wikkeling.

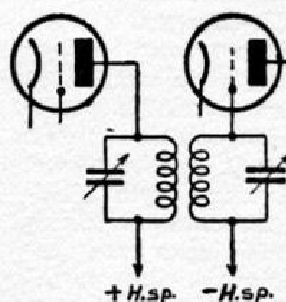
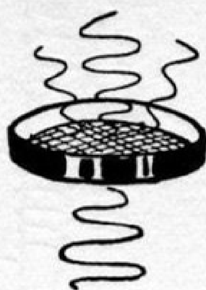


Fig. 53. H.F. transformator-koppeling met afgestemde primaire en secondaire wikkelingen.

te bevoordeelen ten koste van de andere. Wat daarentegen de hoogfrequente stroomen betreft, we mogen nooit het belang vergeten, dat schuilt in het uitzoeken van één bepaalde frequentie, nl. die, welke voortgebracht wordt door den zender, dien wij willen hooren, met uitsluiting van alle andere.



Vr. — Dus bij de hoogfrequent-versterking moeten selectieve koppelingskringen gebruikt worden, of anders gezegd: afgestemde kringen?

W. — Goed begrepen! Het is noodzakelijk, dat de selectie, die in den afstemkring van de antenne begonnen is, wordt voortgezet in de koppelingskringen van den hoogfrequent-versterker. We zullen daarvoor selectieve transformatoren gebruiken en een van beide of zelfs de beide wikkelingen afstemmen (fig. 52 en 53). Zulke transformatoren laten alleen dien stroom door, welke de frequentie heeft, waarop ze zijn afgestemd, met uitsluiting van alle andere.



TWAALFDE GESPREK

Alles schijnt nu voor den wind te gaan. Vraagal wordt zonder moeite ingewijd in de methoden van koppeling door middel van een impedantie. Hij brengt dit met gemak in toepassing in het bijzondere geval van de koppeling tusschen diodedetector en eerste laagfrequent-lamp. Nog beter: hij ontdekt opnieuw wat men gewoonlijk de „roosterdetectie" noemt. Waarom is het nu noodig, dat Weetal, eer hij een einde maakt aan dit prettige onderhoud, zijn vriend tot de diepste wanhoop brengt?

DE GEVAARLIJKE KOPPELINGEN.

W. — Den vorigen keer hebben we de versterkers met koppelingstransformator bekeken. Ik moet je echter nog iets vertellen...

Vr. — Stop! Ik meen al te kunnen raden, wat je wilt zeggen: er bestaan hoogstwaarschijnlijk nog andere soorten versterkers, is het niet zoo?



W. — Inderdaad. Maar hoe heb je dat zoo kunnen raden?

Vr. — Misschien is het een stommiteit, maar ik krijg daar een reuze idee: Ik denk, dat men iederen transformator voor de koppeling tusschen de versterkerlampen kan missen. Je hebt me den vorigen keer gezegd, dat de stroom, als hij door een weerstand gaat, tusschen de uiteinden daarvan een spanningsval veroorzaakt. Als de stroom veranderlijk is, zal, denk ik, de spanning aan de uiteinden van den weerstand dat eveneens zijn.

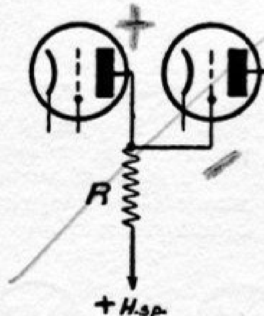
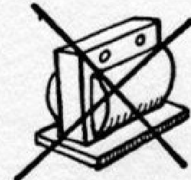
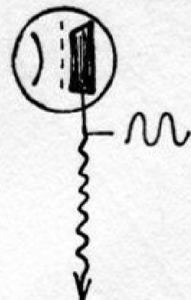


Fig. 54. De spanningen, die in R door den plaatstroom van de eerste lamp zijn veroorzaakt, worden doorgegeven aan het rooster van de tweede lamp.



W. — Volkomen juist!

Vr. — Maar wat zochten wij voor de koppeling tusschen de lampen? Het middel om de veranderingen van de plaatstroomsterkte in de eerste lamp te transformeeren in veranderingen van de spanning, die tusschen het rooster en de kathode van de tweede lamp gebracht moet worden. Het is dus voldoende in den plaatkring van de eerste lamp een weerstand te plaatsen. De spanningsveranderingen, die de stroom in dezen weerstand veroorzaakt, zullen tusschen het rooster en de kathode van de tweede lamp worden gebracht (fig. 54).



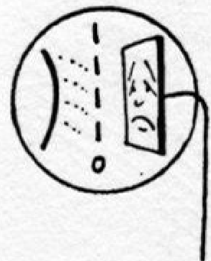
W. — Kalmpjes aan, beste jongen! Je idee is *in principe* uitstekend. Maar men kan het rooster van de tweede lamp niet rechtstreeks verbinden met den weerstand, die in den plaatkring van de eerste lamp ligt.

Vr. — Waarom niet?

W. — Omdat die weerstand met de positieve pool van de hoogspanningsbron is verbonden. En als we daar het rooster mede verbinden, zooals jij gedaan hebt, zal dit zeer sterk positief worden. Dat is een gevaarlijke verbinding...

Vr. — Hoe dat zoo?

W. — O! Aartsdomoor! Ben je dan al weer vergeten, dat het rooster van een versterkerlamp *negatief* gepolariseerd moet zijn?! Het gebied der positieve spanningen is voor het rooster verboden terrein. In geval je het rooster van de tweede lamp op een even hooge positieve spanning brengt als de anode in de eerste lamp, zal de tweede in het verzadigingsgebied werken.



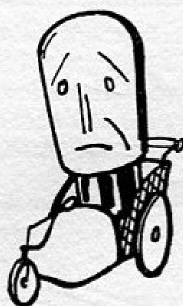
Vr. — Je hebt gelijk. Als het rooster te positief is, zou het alle door de kathode uitgezonden electronen tot zich trekken.

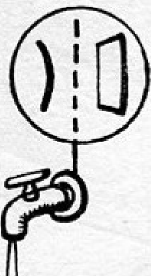
W. — Nu zie je dus, waarheen jouw onvoorzichtige plan ons voert.

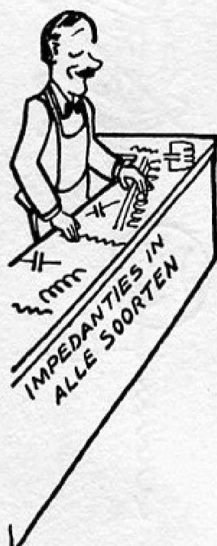
Vr. — Is er dan niets aan te doen?

W. — Ja zeker! Wat wij naar het rooster willen overbrengen, dat zijn de

Lekweerstand — 2° Weerstandskoppeling (weerstand + condensator)









veranderlijke spanningen. We kunnen ze heel gemakkelijk overbrengen door middel van de capaciteit van een condensator C, die tusschen den weerstand R_1 en het rooster van de tweede lamp wordt geplaatst (fig. 55). Op die manier wordt het rooster geïsoleerd voor de hooge positieve gelijkspanning, terwijl de wisselspanningen vrijen toegang tot dat rooster hebben.

Vr. — En waarvoor dient de weerstand R_2?

W. — Als die er niet was, zou een deel van de door de kathode uitgezonden electronen zich ophoopen op het rooster, dat voor gelijkstroom geheel en al geïsoleerd zou worden, of zooals men zegt, „in de lucht" zou hangen. De electronen zouden het rooster al gauw zoo negatief opladen, dat het in het geheel geen stroom meer zou doorlaten. De lamp zou dan „dichtgeknepen" zijn. Ten einde de electronen te veroorloven vrij van het rooster te vertrekken, gebruiken wij dien lekweerstand R_2, die de potentiaal van het rooster bepaalt door dat te verbinden met de negatieve pool van de hoogspanningsbron.

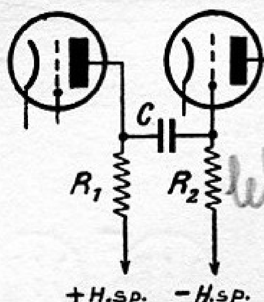


Fig. 55. Koppeling door weerstanden en capaciteit. R_1 = plaatweerstand; C = koppelingscondensator; R_2 = lekweerstand.

Vr. — Dus de wisselspanning wordt op het rooster van de tweede lamp gebracht door den koppelcondensator C, en de vaste spanning, die het werkpunt bepaalt, via den weerstand R_2?

IN HET KONINKRIJK DER IMPEDANTIES.

W. — Zoo is het! Dat systeem heet kortweg „weerstandkoppeling". Maar in plaats van den weerstand R_1 zou men een heel andere impedantie kunnen gebruiken, waaraan de veranderlijke stroom wisselspanningen zou ontwikkelen.

Vr. — Zou men bijvoorbeeld van een inductantie gebruik kunnen maken?

W. — Natuurlijk! Vaak gebruikt men in laagfrequent-versterkers een inductieve koppeling (fig. 56). In dat geval bestaat de inductantie L uit een spoel met ijzeren kern.

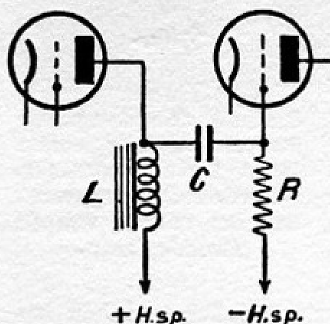


Fig. 56. Koppeling door de inductantie L met ijzeren kern.

Vr. — Wat is de beste van al die verschillende koppelingsmethoden?

W. — Dat hangt er van af... Ze hebben ieder hun voor- en nadeelen. De weerstandskoppeling heeft het bezwaar van den voortdurenden gelijkspanningsval, die in de weerstand R_1 ontstaat (fig. 55). Op die manier blijft er op de anode slechts een gedeelte over van de totale spanning van de stroombron. Daarentegen kan de gelijkstroomweerstand van een inductantie klein genoeg gehouden worden en zal bijgevolg het gelijkspanningsverlies gering zijn. Maar aan den anderen kant heeft de inductantie-koppeling het bezwaar, dat niet alle musicale frequenties in dezelfde mate versterkt worden.

Vr. — Hoe komt dat?

W. — Je weet toch, dat de inductantie van een wikkeling afhankelijk is van de frequentie van den stroom. Dus voor de hoogere frequenties, die overeenkomen met de hoogste tonen, zal ook de inductantie hooger zijn. De aan de inductantie verkregen wisselspanningen zijn dus hooger. Het gevolg is, dat de hoogste tonen het meest versterkt worden.

Vr. — Terwijl de gewone weerstand alle frequenties even sterk doorgeeft, niet waar?

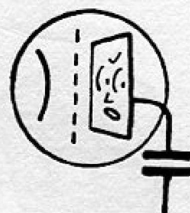
3°/ koppeling met trillingskring + Condensator

W. — Ja! Maar nu blijft er nog één in de koppelingskringen vaak gebruikte impedantie over.

Vr. — De capacitieve?

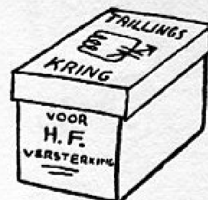
W. — Neen, beste vriend! Men kan in den plaatkring niet zonder meer een condensator inschakelen, want dan kan de plaat geen *gelijk*-spanning krijgen.

Vr. — Dan weet ik niet over welke impedantie je het hebben wilt en geef ik het op.



W. — Ik wil je er aan herinneren, dat ook de trillingskring een impedantie vormt en wel een van een bijzonder soort; hij biedt alleen een hoogen weerstand aan de frequentie van den stroom, waarop hij is afgestemd.

Vr. — Daar dacht ik heelemaal niet aan. Men kan dus een koppeling tot stand brengen door een trillingskring LC′ (fig. 57) als impedantie te gebruiken. Waarschijnlijk heeft een dergelijke koppeling alleen reden van bestaan voor hoogfrequent-versterking?



W. — Zeker! En je ziet, dat het beslist een zeer selectieve koppeling is, want alleen de stroomen met de afstemfrequentie van den trillingskring zullen aan de uiteinden daarvan wisselspanningen opwekken, die, door den koppelingscondensator C heen, aan het rooster van de tweede lamp worden doorgegeven.

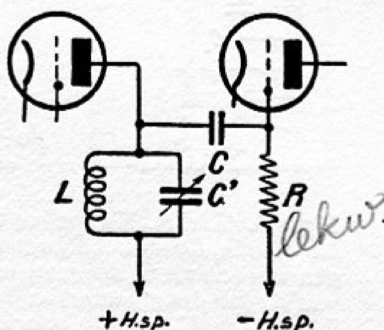


Fig. 57. Koppeling door een trillingskring LC′ met koppelingscondensator C en lekweerstand R.



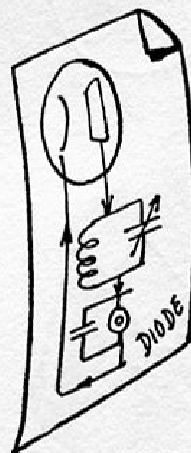
EEN BIJZONDER GEVAL.

Vr. — Ik geloof de verschillende koppelingsmethoden, die je mij hebt uitgelegd, goed begrepen te hebben. Toch ben ik bang ze niet te kunnen toepassen in het geval van de diode-detectie, waarbij ik den ingang en den uitgang niet goed kan onderscheiden.

W. — Dat is inderdaad een beetje een bijzonder geval. Maar de oplossing kan niet eenvoudiger. Je herinnert je, dat we dank zij de eenzijdige geleidbaarheid van de diode in den kathode-anodekring stooten in één richting krijgen, die door een condensator opgehoopt worden, zoodat door de telefoon een laagfrequente stroom loopt.

Vr. — Ja, maar omdat het er om gaat dien stroom te versterken, zal er niet onmiddellijk achter de diode een telefoon volgen.

W. — Dat spreekt vanzelf. In de plaats van de telefoon zetten we een weerstand R_1 tezamen met den reservoir-condensator C_1 (fig. 58). De laagfrequente stroom, die door R_1 gaat, zal aan de uiteinden van dien weerstand een wisselspanning veroorzaken, die wij via den verbindingscondensator C_2 op het rooster van de eerste laagfrequent-lamp brengen.



Vr. — En de weerstand R_2?

W. — Dat is de klassieke lekweerstand, dien je onmiddellijk had moeten herkennen.

Vr. — Den polarisatie-weerstand R_3 van de laagfrequent-lamp heb ik wel herkend!

W. — Goed... Maar nu wil ik er de aandacht op vestigen, dat meestal in plaats van een onafhankelijke diode en een aparte laagfrequent-versterker een combinatie-lamp wordt gebruikt: een *diode-triode*, waarbij in denzelfden ballon de beide electrodensystemen zijn vereenigd. De vereenvoudiging gaat overigens nog verder, want de diode en de triode hebben nu een gemeenschappelijke kathode gekregen.

Vr. — Die lamp geeft dus een besparing van ruimte en gloeistroom. Dat is een modellamp voor deze crisistijden...

W. — Het toestel, waarin de diode-triode wordt toegepast, is volkomen gelijk aan dat met een afzonderlijke diode en triode. Je zult opmerken, dat de aanwezigheid van den weerstand R_3 het mogelijk maakt het rooster negatief te polariseeren door de kathode positief te maken ten opzichte van de negatieve pool der hoogspanning. Maar de anode van de diode is bij afwezigheid van trillingen op dezelfde potentiaal als de kathode, want de stroom van de diode keert na door R_1 te zijn gegaan, onmiddellijk naar de kathode terug (fig. 59).



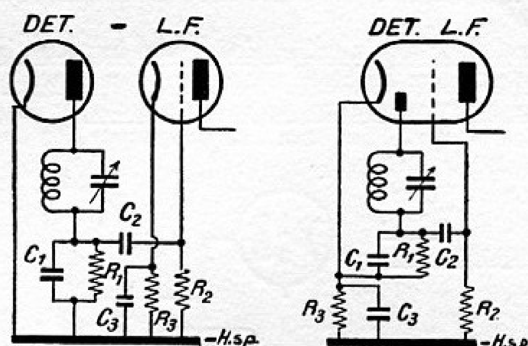


Fig. 58. (*Links*). Koppeling tusschen diode en LF-triode. De aan C_1R_1 ontwikkelde spanningen worden via C_2 doorgegeven aan het rooster van de LF-lamp, waaraan de lekweerstand R_2 ligt. R_3 en C_3 zorgen voor de polarisatie van het rooster van deze LF-lamp.

Fig. 59. (*Rechts*). De twee lampen van fig. 58 zijn nu vereenigd in één diode-triode. Het schema blijft hetzelfde, zooals men bij vergelijking van de figuren, waarvan de onderdeelen met dezelfde letters zijn aangegeven, ziet.

EEN IDEE VAN VRAAGAL.

Vr. — Daar krijg ik een idee...!

W. — Gewoonlijk vertrouw ik dat niet erg. Maar enfin, zeg op!

Vr. — Ik vraag me af, als men de vereenvoudiging nog wat verder kon doorvoeren, door heel simpel de plaat van de diode te vereenigen met het rooster van de triode. De op die manier tusschen het rooster en de kathode gebrachte hoogfrequente spanningen (fig. 60) zullen op de gewone wijze gelijkgericht worden door de diode-detectie, het rooster zal voor die gelegenheid de rol van de plaat uit de diode vervullen. De laagfrequente spanningen, die ten gevolge daarvan aan de uiteinden van den weerstand R_1 zullen ontstaan (dank zij de accumuleerende werking van den condensator C_1), worden dan tusschen dat rooster zelf en de kathode gebracht. De lamp zal dan als laagfrequent-versterker functionneeren... Waarom lach je, Weetal? Heb ik weer iets stoms gezegd?

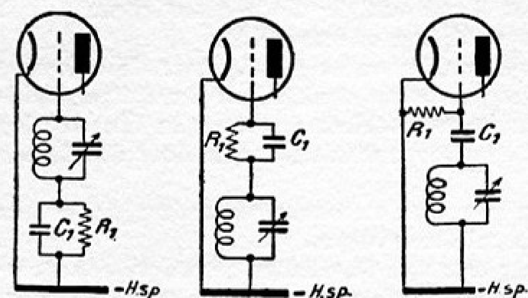


Fig. 60. De zg. „rooster-detectie". — Fig. 61. Wijziging van het schema van fig. 60. — Fig. 61a. Variant van het schema van fig. 61.



W. — Integendeel! Wat me echter doet lachen, is, Vraagal, dat je zoojuist een reeds sinds lang gebruikte methode opnieuw hebt ontdekt en duidelijk uitgelegd, namelijk de zg. „roosterdetectie". Zooals jij het zoo goed hebt gezegd, het betreft hier geen speciale detectie-methode, maar de diode-detectie, gecombineerd met de laagfrequente versterking, door dezelfde electrode de rol te laten spelen van diode-plaat en triode-rooster. Nu, dit overigens zeer logische gezichtspunt is ontsnapt aan alle technici, die om

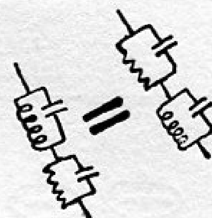
die beroemde „roosterdetectie" te kunnen verklaren, even ingewikkelde als dikwijls duistere verhandelingen daarover uitgaven.

Vr. — Ik ben steeds gaarne bereid om op die manier alle problemen van de radiotechniek op te helderen!

W. — Wordt nu niet overmoedig, mijn waarde Vraagal, anders laat ik je het ware schema van die „rooster-detectie" niet zien.

Vr. — Het is dus niet het mijne?

W. — Het verschilt er niet veel van. Ten einde den opbouw gemakkelijker te maken verwisselt men de plaatsen van den trillingskring en van den weerstand R_1 met den condensator C_1 onderling (fig. 60), daardoor verandert er niets. Voorts kan de weerstand R_1 in plaats van met de kathode dòòr den trillingskring te worden verbonden (fig. 60), daar rechtstreeks aan gekoppeld worden (fig. 61) . . . Maar wat krabbel je daar . . .?



EEN „VRAAGAL-SCHEMA".



Vr. — Aangemoedigd door je complimentjes heb ik het schema voor een vijflamps-ontvangtoestel geteekend (fig. 62). Het bevat, zooals je ziet, een tweevoudige hoogfrequent-versterking. De koppeling tusschen de eerste

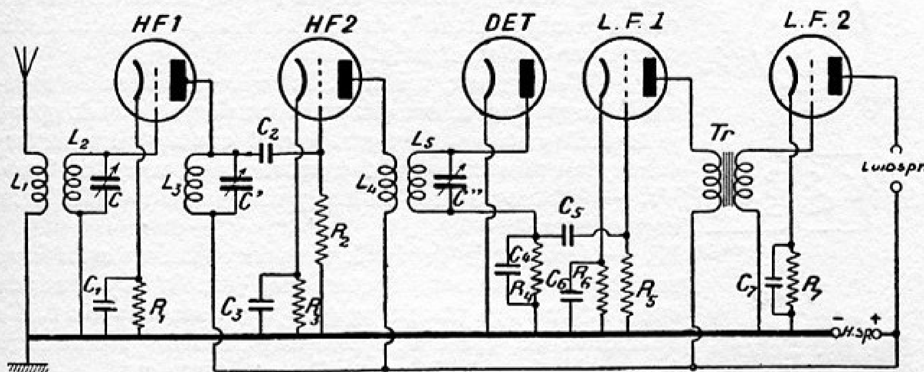
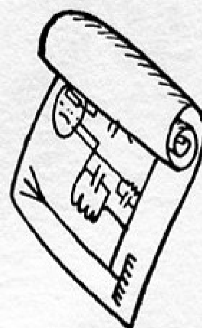


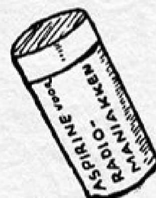
Fig. 62. Dit is een schema volgens het ontwerp van Vraagal! . . . De polarisatieweerstanden zijn aangeduid met R_1, R_3, R_6 en R_7 en de overeenkomstige condensatoren met C_1, C_3, C_6 en C_7. R_2 en R_5 zijn lekweerstanden.



twee lampen komt tot stand met behulp van de impedantie van den trillingskring L_3C' en van den koppelingscondensator C_2. Tusschen den tweeden hoogfrequent-versterker en de diode geschiedt de koppeling met behulp van een HF-transformator L_4L_5 met een met C'' afgestemde secondaire wikkeling. De gelijkgerichte en aan R_4 gegeven spanningen worden via den condensator C_5 aan het rooster van de eerste laagfrequent-lamp toegevoerd. Op deze sluit via een transformator Tr de laatste lamp aan, waarvan de plaatkring den luidspreker zal doen werken. Is mijn schema in orde?

W. — Zoo in orde als het maar zijn kan! Maar als je een toestel volgens jouw schema maakt, had je groote kans, dat het zeer slecht werkte!

Vr. — Mijn hemel! Waarom?



W. — Omdat er bij den bouw dingen zullen voorkomen, die je schema niet aanwijst, maar die daarom niet minder nadeelig kunnen zijn.

Vr. — Dat lijkt me weer verduiveld ingewikkeld en volkomen geschikt om mij een reuze hoofdpijn te bezorgen.

DERTIENDE GESPREK

De terugkoppeling, die vroeger de genoegens van de eerste radio-amateurs vormde en die nog steeds in de moderne toestellen is waar te nemen (echter zonder dat men het wil), vormt het onderwerp van dit gesprek. Van de verschillende methoden, die voorgesteld zijn voor de regeling van de terugkoppeling, bespreekt Weetal alleen de voornaamste... Tenslotte heeft Vraagal het genoegen kennis te maken met de lampen met meer dan drie electroden: de lampen met een schermrooster en die met drie roosters of de pentoden. Wilt u hem op dien weg volgen?

„TERUGWERKENDE BESLUITEN".



Vr. — Je hebt me een behoorlijke koude douche gegeven, Weetal. Nu eens zing je me lofzangen toe, dan weer vernielt je ironie de schoonste uitingen van mijn scheppende gedachten als radio-technicus...

W. — Wees wat minder hoogdravend, Vraagal, en zeg me, waarin ik onrechtvaardig tegenover jou ben geweest.

Vr. — Den vorigen keer heb ik niet zonder moeite het schema voor een uitstekend radio-toestel ontworpen. Nadat je het onderzocht had en mij er een compliment voor had gemaakt, verklaarde je ijskoud, dat „wegens dingen, die je niet op papier ziet, maar die desniettemin bestaan", dat toestel niet zal werken. Dat is duister en... verdrietig!

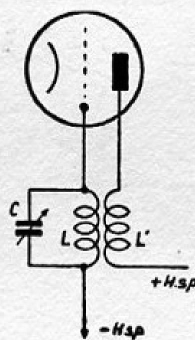
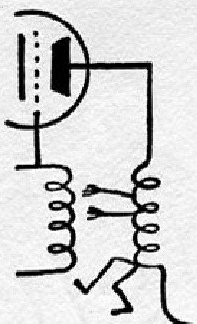


Fig. 63. Schema voor een heterodyne. L = roosterspoel. L′ = plaatspoel.

W. — Wees gerust, vriendje. Ik bedoelde alleen de ongewilde koppelingen, die niet zouden nalaten de werking van je toestel te storen. Het gaat vooral om koppelingen tusschen den plaatkring en den roosterkring van elke lamp.

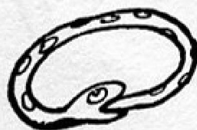
Vr. — Wat is de aard en het gevolg van die verderfelijke koppelingen?

W. — Om het je duidelijk te maken gaan we even terug naar het schema voor de heterodyne (fig. 63). Daarin is de spoel L′ van den plaatkring gekoppeld aan de spoel L, die deel uitmaakt van den roostertrillingskring. Herinner je je, wat het gevolg is van zulk een koppeling?



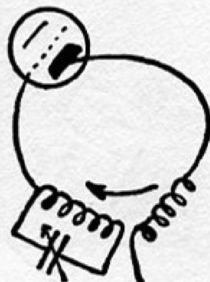
Vr. — Natuurlijk! Er ontstaan trillingen in den roosteren in den plaatkring en daardoor vormt onze heterodyne als het ware een kleinen zender.

W. — Precies! Tenminste, als de mate van koppeling tusschen de twee spoelen sterk genoeg is. Is de koppeling los, dan zullen er geen trillingen komen, maar het feit is daarom niet minder belangrijk, want we houden toch steeds een inductieve werking van den plaatkring op den roosterkring, een inwerking van den uitgangskring op den ingangskring. Dat noemt men *terugkoppeling*.



Vr. — Dat is als het symbool der wijsheid bij de Oude Volken: de slang, die haar eigen staart opeet, niet?

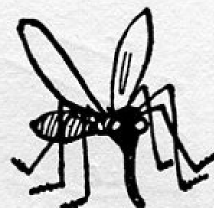
W. — Zooals je wilt! Merk nu op, dat een dergelijke lamp met terugkoppeling gebruikt wordt als versterkerlamp in een ontvanger (fig. 63). We hebben dus aan den kring LC de te versterken spanningen en in de spoel L′ versterkte stroomen. Maar die versterkte stroomen zullen in de roosterspoel L nieuwe spanningen induceeren. Als de „terugkoppelspoel" L′ behoorlijk afgesteld is ten opzichte van L, zullen de door L′ in L geïnduceerde spanningen de spanningen komen versterken, die oorspronkelijk daarin waren geïnduceerd.



Vr. — Dus, als ik het goed begrijp, versterkt de terugkoppeling van L′ op L de trillingen in L. Maar in dat geval zullen die versterkte trillingen op hun beurt weer versterkt worden door de lamp en in de terugkoppelspoel

L′ een nog sterkeren stroom veroorzaken. Door inductie versterkt die stroom de trillingen in L nog meer enzoovoort. De versterking zal dus oneindig hoog worden!?

W. — Kalm aan, beste jongen! Als de trillingen in den plaatkring sterker worden, zullen de stroomverliezen (door den weerstand en ook om nog andere redenen) daar gelijkelijk grooter worden en eindigen doordat de verliezen in evenwicht komen met den energie-toevoer van den plaatkring. Toch is de dank zij de terugkoppeling behaalde versterking zeer belangrijk, vooral als de koppeling vast genoeg is om de trillingen te brengen tot aan de grens, waarop heterodyne-trillingen zouden ontstaan.



HOE MEN DE TERUGKOPPELING KAN REGELEN.

Vr. — De terugkoppeling doet me aan muggebeten denken.

W. — Ik moet je eerlijk bekennen, dat ik het verband niet zie.

Vr. — Toch is het erg duidelijk: Als je door een mug wordt gebeten, wrijf je allicht de gestoken plek om te trachten den jeuk te verdrijven. Die wordt daardoor natuurlijk erger. Dan krabbel je jezelf nog verwoeder en daardoor jeukt het nog meer... Eindelijk verlies je, dol van woede, je kalmte en alles eindigt met een stukgekrabbelde en bloedende huid... Op dezelfde manier wordt de zwakke trilling van den plaatkring wegens de inductieve koppeling versterkt door den versterkten plaatstroom. Zij brengt dan in den plaatkring een sterkeren stroom voort. Die doet de roosterspanning weer aangroeien enzoovoort, maar dit eindigt zonder bloedverlies, omdat de stroomverliezen in den plaatkring die kalmeerende rol spelen, welke ons verstand had mòèten spelen in het geval van den muggebeet.

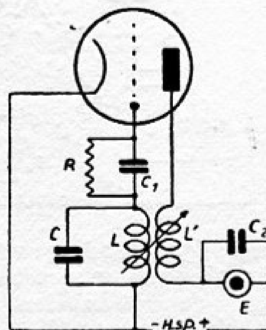
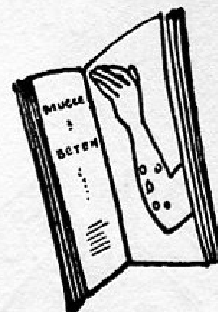
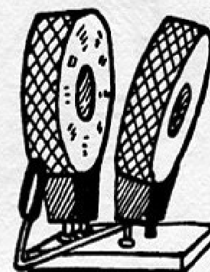


Fig. 64. Detector met regelbare terugkoppeling door verandering van de koppeling tusschen L en L′.



W. — Vind je het goed, dat we nu van de muggen weer tot ons onderwerp terugkeeren? Ik heb je dus gezegd, dat de uitwerking van de terugkoppeling het krachtigst is, als de koppeling tusschen den kring van de plaat en dien van het rooster de lamp tot aan den drempel brengt van de opwekking van trillingen, zonder daar echter overheen te gaan.

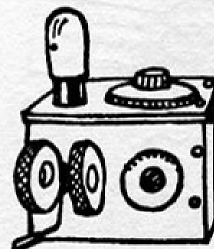


Vr. — Mij dunkt, dat is gemakkelijk te verkrijgen. Men moet eens voor altijd de beide spoelen L en L′ op een zoodanigen afstand plaatsen, dat de sterkste koppeling is verzekerd, die de lamp verdraagt zonder in trilling te geraken.

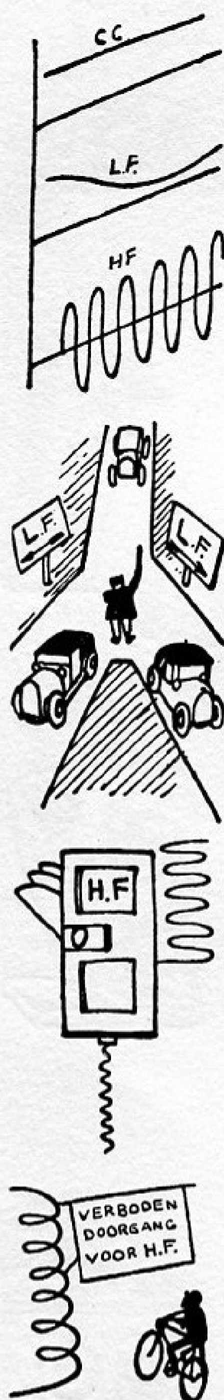
W. — Welnu, die koppeling, die goed is voor een bepaalde uitzending, zal dat voor alle andere niet zijn. Want — en dat heb je vergeten, Vraagal — de werking van de inductie verandert met de frequentie en wordt daarmee grooter. Dus de terugkoppeling, die prima is voor een bepaalde uitzending, zal te sterk zijn voor een uitzending op een hoogere frequentie en niet sterk genoeg voor een uitzending op een lagere frequentie.

Vr. — Het wordt weer ontzettend ingewikkeld! Ik zie geen middel om de zaak voor elkaar te brengen.

W. — Toch is het erg eenvoudig: je behoeft alleen maar de koppeling tusschen de beide kringen variabel te maken, bijvoorbeeld de plaatspoel L′ beweegbaar ten opzichte van de roosterspoel L. Dit is (fig. 64) het schema voor den detector met terugkoppeling, die een jaar of tien geleden de genoegens mogelijk maakte van alle luisteraars. Het is een lamp als zg. „rooster-detector" gemonteerd. In den plaatkring is een spoel L′ ten opzichte van de roosterspoel L beweegbaar (zooals de pijl aanduidt, die dwars door de spoelen is geteekend).



Vr. — Ik denk niet, dat het erg gemakkelijk was die spoel zoo te verplaatsen.
W. — Toch was het een spannende sport. Maar men heeft natuurlijk practischer middelen gevonden voor de regeling van de terugkoppeling. Men heeft het namelijk veel gemakkelijker gevonden deze te regelen met behulp van een variabelen condensator.
Vr. — Ik moet bekennen, dat ik niet inzie, waarin die mogelijkheid gelegen is.



DE „KRAAN-CONDENSATOR".

W. — Kijk, waarde vriend, de plaatstroom van den zoogenaamden „roosterdetector" bestaat uit drie verschillende dingen: ten eerste is er de gelijkstroom, die in rusttoestand steeds door de lamp gaat. Vervolgens hebben wij den laagfrequenten component, d. w. z. de golving, die uit de detectie voortvloeit. Tenslotte is er ook de hoogfrequente component, die gevormd wordt door de stroomstooten in één richting, waarvan de opeenhooping juist den laagfrequenten stroom oplevert. Het is die hoogfrequente component, die — alleen — het effect der terugkoppeling veroorzaakt. We gaan dien dus van de beide andere componenten afscheiden...
Vr. — Hoe dan?
W. — Hier heb je het schema (fig. 65): We laten den plaatstroom zich in twee verschillende wegen vertakken. De met HF aangeduide weg bevat een condensator met geringe capaciteit. Noch de gelijkstroom, noch de laagfrequent-component kan er doorheen. Alleen de hoogfrequente kan zich van dezen weg bedienen, dien hij tamelijk gemakkelijk kan volgen al naar gelang de capaciteit van den condensator C'.

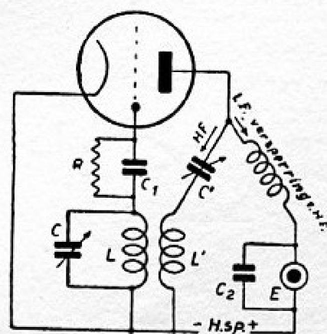


Fig. 65. Regeling van de terugkoppeling met behulp van den variabelen condensator C'.

Vr. — Nu ben ik er! Ik heb het gesnapt! De condensator C' is variabel en vormt voor de hooge frequentie als het ware een kraan, die meer of minder wijd opengezet of gesloten kan worden. Wij regelen dus met behulp van dien condensator de toelating van den stroom van hooge frequentie in de spoel L' en beperken bijgevolg zoo het effect van de terugkoppeling. Maar waarom zou de hoogfrequente component niet even gemakkelijk gebruik maken van den tweeden weg, dien je L.F. hebt genoemd?

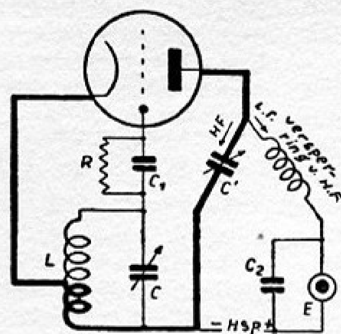


Fig. 66. Het zg. „Hartley-schema". De weg van den HF-stroom is met dikke lijnen aangeduid.

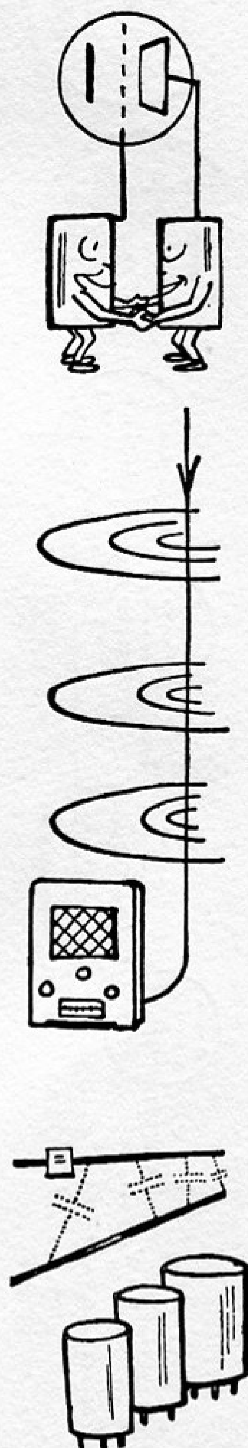
W. — Omdat we daar een *smoorspoel* hebben geplaatst, d. w. z. een spoel met een zeer hooge zelfinductie. Zooals je weet, biedt die spoel aan den stroom een inductieven weerstand, die grooter is naarmate zijn frequentie hooger is. Terwijl de gelijkstroom en de laagfrequente component gemakkelijk door de smoorspoel passeeren, vormt deze een practisch onoverkomelijke hindernis voor de hooge frequentie.
Vr. — Die nieuwe toepassing voor het oude devies *divide ut regne* (verdeel en heersch!) is wel vernuftig gevonden.
W. — Bravo voor je Latijn!... Als je overigens een werkelijk vernuftig schema wilt zien, dan is het dat van Hartley, hetwelk een variant is van den teruggekoppelden detector en dat zoo wordt genoemd naar een Amerikaan-

schen amateur, die echter zweert het nooit uitgevonden te hebben. In die schakeling (fig. 66) dient een en dezelfde spoel L voor de afstemming van den roosterkring en voor terugkoppeling. Voorzien van een aftakking in het midden vormt zij in haar geheel met den variabelen condensator C een afstembaren roosterkring. Maar door de onderste helft loopt bovendien de hoogfrequente component van den plaatstroom. En de condensator C′ dient om de sterkte van dezen te regelen op dezelfde manier als in het voorgaande schema.

Vr. — Dat is prachtig en als men dat schema de „Vraagal-schakeling" had gedoopt, zou ik niet, zooals mijn Amerikaansche collega, geprotesteerd hebben ... Maar goed beschouwd, zie ik nog niet in, waardoor het principe van de terugkoppeling de goede werking kan belemmeren van het toestel, dat ik je in ons vorige onderhoud heb voorgeteekend.

W. — Je zult het nu wel gauw begrijpen. Er kunnen in een ontvanger terugkoppelingen, d. w. z. koppelingen tusschen den plaatkring en den roosterkring, ontstaan, zonder dat wij dat willen. Als ze aan onze contrôle ontsnappen, worden ze even gevaarlijk als de met opzet gemaakte en regelbare terugkoppeling nuttig is.

Vr. — Ik moet bekennen niet te kunnen ontdekken, hoe de koppelingen tusschen den plaat- **en** den roosterkring ontstaan en waardoor zij een gevaar kunnen vormen.



DE TERUGKOPPELING IS HET BESTE EN HET SLECHTSTE VAN ALLES.

W. — Als iedere terugkoppeling zijn ze in staat om ongewenschte trillingen op te wekken, hetgeen de technici *wild genereeren* noemen. De lamp wordt dan in plaats van versterker zender, wat heelemaal haar rol niet is. Wat de redenen zelf van die ongewenschte koppelingen, die het terugkoppelingsverschijnsel veroorzaken, aangaat, deze zijn verschillend. Veronderstel eens, dat een versterkerlamp een roostertrillingskring LC heeft en een anderen L′C′-kring in de plaatketen (fig. 67). Hoewel van elkaar verwijderd, bevinden de spoelen L en L′ zich in elkanders magnetisch veld. Dus de spoel L′ werkt terug op L. Behalve die inductieve koppeling kan zij nog een andere hebben, door ongewilde capaciteiten, gevormd tusschen aangrenzende verbindingen van den rooster- en den plaatkring.

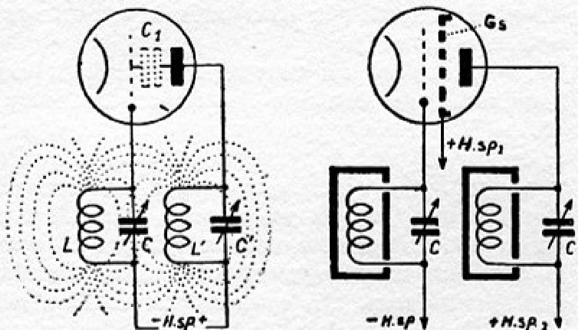


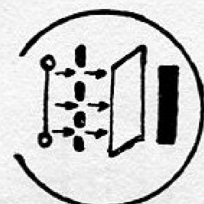
Fig. 67 (*links*). Ongewenschte koppelingen door inductie (de magnetische velden zijn gestippeld aangegeven) en door de capaciteit C_1 tusschen rooster en plaat.
Fig. 68 (*rechts*). Opheffing van de koppelingen door afscherming van de spoelen en door het schermrooster.

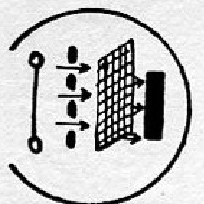
Vr. — Kan men die verbindingen niet voldoende van elkander verwijderd houden, om de daardoor gevormde capaciteiten tot een minimum terug te brengen?

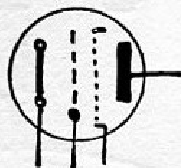
W. — Dat doet men inderdaad. Er blijft slechts één capaciteit over, waarvan men zich vroeger niet kon bevrijden en die zoo jarenlang iederen vooruitgang van de techniek heeft tegengehouden.

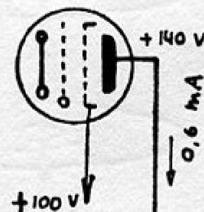
Vr. — Welke is die verwenschte capaciteit?

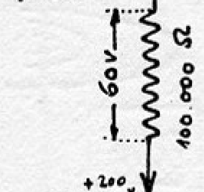
W. — Dat is die kleine capaciteit, welke gevormd wordt tusschen het rooster

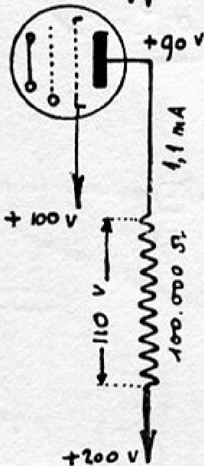










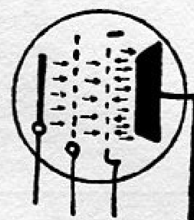


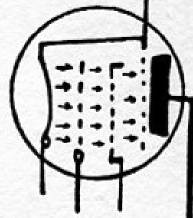
en de plaat, die samen als het ware twee condensatorplaten vormen (C_1 in fig. 67). De koppeling, die daardoor tusschen den rooster- en den plaatkring wordt veroorzaakt, is voldoende, om de stabiliteit van een hoogfrequent-versterker in gevaar te brengen, zoodra het aantal trappen meer dan één bedraagt.
Vr. — Ik zou dit een verschrikkelijken toestand vinden, als ik niet van te voren wist, dat jij de gewoonte hebt hinderpalen op te hoopen ten einde ze vervolgens in één ruk te vernielen. Wat is dus de remedie?
W. — Er bestaan er drie: afscherming, afscherming en nog eens afscherming! Iedere spoelengroep wordt hermetisch opgesloten in een metalen doos, die het magnetische veld onderschept en de spoelen verhindert om door inductie op haar soortgenooten in te werken. Dan is er nog de afscherming, die we binnen in de lamp zelf aanbrengen om de capaciteit tusschen het rooster en de plaat op te heffen (fig. 68).

DE AFSCHERMING TUSSCHEN ROOSTER EN PLAAT.

Vr. — Nu moet ik je even onderbreken. Als je een afscherming tusschen het rooster en de plaat aanbrengt, zal de doortocht van de electronen versperd worden en zal er geen plaatstroom meer loopen.
W. — Bedaar een beetje, Vraagal! Die afscherming binnen in de lamp zal er een zijn met ontelbare gaatjes, waardoor de electronen passeeren en des te gemakkelijker als wij haar brengen op een potentiaal, die ongeveer gelijk is aan de helft van die van de plaat, zoodat zij de beweging van de electronen versnelt door haar aantrekkingskracht te voegen bij die van de plaat. In werkelijkheid bestaat die afscherming uit een nauw gewikkeld rooster, dat men *schermrooster* noemt. De aldus samengestelde lamp heet *schermroosterlamp*, of, daar zij vier electroden bevat: *tetrode* (het Grieksche woord „tetra" beteekent „vier").
Vr. — Het doet me genoegen eindelijk te hooren over het bestaan van een lamp met meer dan drie electroden. Dat is nu nog eens een moderne lamp!
W. — Niet zoo erg meer, vriend! Zij heeft namelijk een gebrek, dat, om het te onderdrukken, de technici gedwongen heeft er nog een electrode aan toe te voegen. Als een wisselspanning, om versterkt te worden, aan het rooster van die lamp wordt toegevoegd, verandert de plaatstroom van die lamp natuurlijk. Die stroom veroorzaakt aan de impedantie, die in den plaatkring is geplaatst, spanningsverschillen, die in afhankelijkheid van de stroomsterkte variëeren. Die spanningsverschillen nemen af, evenals de spanning, die werkelijk tusschen de plaat en de kathode overblijft, toeneemt en...
Vr. — Wacht even, Weetal, een voorbeeld met cijfers zou het me duidelijker maken.
W. — Hier heb je er een: Veronderstel, dat de hoogspanningsbron 200 V heeft. Die spanning wordt tusschen de kathode (ik verwaarloos hier even de polarisatie) en de plaatimpedantie aangelegd. Neem nu aan, dat deze laatste, om de zaak te vereenvoudigen, wordt voorgesteld door een weerstand van 100 000 Ω en dat de plaatstroom in rust 0,6 mA is. In dat geval is de spanningsval in de impedantie $100\,000 \times 0{,}0006 = 60$ V, zoodat er tusschen de plaat en de kathode geen 200, doch slechts 140 V staat. Aan den anderen kant veronderstel ik, dat het schermrooster op + 100 V is gebracht. Als we nu aan het eerste rooster een wisselspanning geven, die den plaatstroom laat variëeren tusschen 0,1 en 1,1 mA, zal de spanningsval in de impedantie variëeren tusschen 10 en 110 V en de werkelijke spanning van de plaat ten opzichte van de kathode zal tusschen de 190 en 90 V schommelen. Je ziet dus, dat de plaat voor een oogenblik op een lagere potentiaal zal zijn dan het schermrooster. Dat maakt niet veel indruk op je...
Vr. — Neen, inderdaad niet. Waarom kan dat verontrustend zijn?

W. — Door je onwetendheid kun je rustig langs de verschrikkelijkste afgronden gaan! Denk eens in, wat er gebeurt, als op zoo'n oogenblik een door de kathode uitgezonden electron na het rooster en het schermrooster, dat de beweging nog versnelde, doorkruist te hebben, als een bom in de oppervlakte van de plaat slaat. Door zijn schok rukt het van de plaatatomen een of meer electronen af, die opspatten als water bij den sprong van een zwemmer. Die electronen gedragen zich als al hun soortgenooten: zij gaan naar de electrode, die hen het meest aantrekt, d. w. z. naar de meest positieve electrode. Gewoonlijk is dat de plaat en zij keeren in hun woonplaats terug zonder de werking van de lamp ook maar eenigszins te verstoren. Maar voor die gelegenheid wordt het schermrooster de meest positieve electrode, tenminste voor enkele momenten. Daarheen snellen dus de plotseling van de plaat bevrijde electronen.





Vr. — Geweldig! . . . Dan is er dus een stroom van de plaat naar het schermrooster? En de plaat vervult dan ten opzichte van het schermrooster de rol van secondaire kathode?

W. — Zoo is 't! Men zegt trouwens, dat er een *secondaire emissie* ontstaat, die van de plaat naar het schermrooster gaat. Die emissie vermindert evenveel als de plaatstroom en vervormt dezen daardoor.

Vr. — Daar staan we weer tegenover een hindernis. Werp haar omver, asjeblieft!

W. — Dat is niet moeilijk. Om de secondaire emissie te onderdrukken, plaatsen we tusschen de plaat en het schermrooster een derde rooster (*remrooster* genaamd) met zeer wijde mazen, dat op de potentiaal van de kathode wordt gehouden (meestal is het er binnen in de lamp mede verbonden). Dat rooster belet de electronen van de secondaire emissie zich naar het schermrooster te begeven.

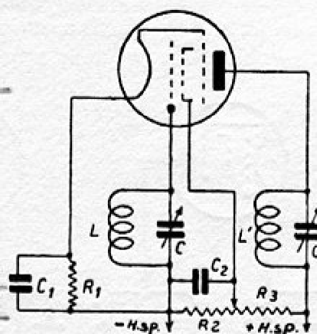
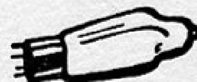


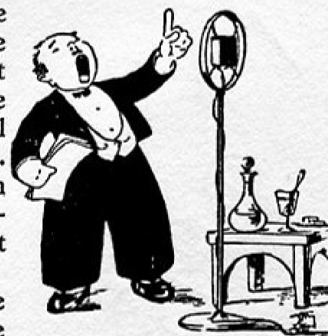
Fig. 69. Schakeling van een pentode. R_1 met C_1 = polarisatie. R_2, R_3 met C_2 voor de spanning van het schermrooster.





Vr. — Welnu, ik ben er niet boos om op deze manier kennis gemaakt te hebben met de vijfelectroden-lamp, die, als mijn kennis van het Grieksch me niet bedriegt, de *pentode* zal heeten.

W. — Precies! Je ziet dus, dat de pentode een verbetering is van de tetrode en dat hij gemaakt is om de zeer nadeelige uitwerking van de secondaire emissie te doen verdwijnen. Ziehier (fig. 69), hoe een versterkertrap met een pentode wordt geschakeld. De weerstanden R_2 en R_3, die tusschen de polen van de hoogspanningsbron zijn geplaatst, dienen om de potentiaal van het schermrooster ten naaste bij op de helft van die spanning te houden. Wat den condensator C_2 betreft, zijn rol bestaat uit het laten passeeren van een zwakken hoogfrequenten stroom, die in het schermrooster wordt opgewekt door electronen van den stroom, die van de kathode naar de plaat gaan en die door het schermrooster worden opgenomen.



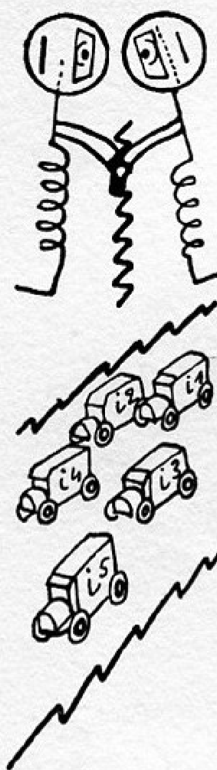
Vr. — Ik hoop, dat de afschermingen, de tetroden en de pentoden de definitieve oplossing zullen brengen van het probleem der ongewenschte koppelingen.

W. — Een ijdele hoop, Vraagal!

VEERTIENDE GESPREK

Hoe minder terugwerking er bestaat tusschen de kringen van de eene lamp en die van de naburige, des te beter is dat voor de goede werking van het ontvangtoestel. Dat is de gevolgtrekking van de studie, die onze vrienden hebben voortgezet over de ongewenschte koppelingen. Behalve de vroeger reeds aanbevolen afschermingen onderzoeken zij de „ontkoppeling", waardoor het mogelijk is de gevaarlijke koppelingen te vermijden... Terwijl hij overgaat tot de bestudeering van een practisch schema, vertelt Weetal interessante bijzonderheden over de omschakeling van de afstemkringen.

ONONTWARBARE KOPPELINGEN.



W. — Tot nu toe hebben wij alleen gesproken over koppelingen door magnetische inductie of door een capaciteit. Maar er bestaan ook koppelingen door middel van een gemeenschappelijken weerstand (of op een meer algemeene manier: door een impedantie).

Vr. — Ik kan niet inzien, waar die gemeenschappelijke weerstanden in bestaan.

W. — Hier zie je, zeer schematisch geteekend, drie trappen hoogfrequent-

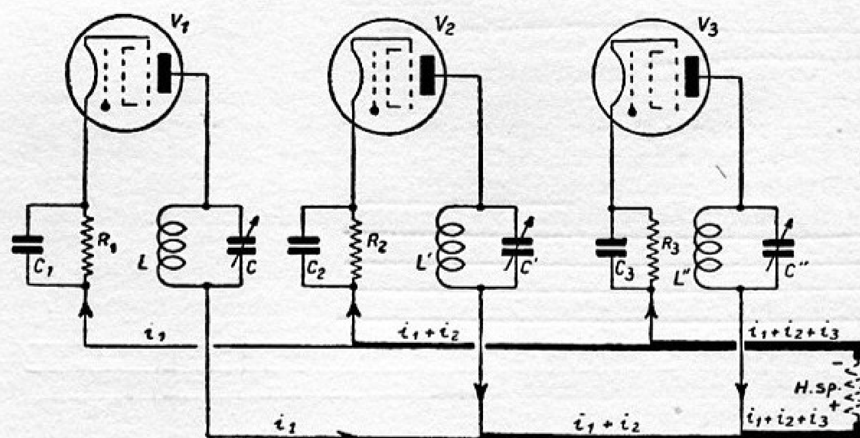
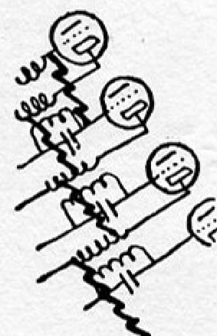


Fig. 70. In deze schakeling doorloopen de plaatstroomen van verschillende lampen gedeeltelijk gemeenschappelijke banen.

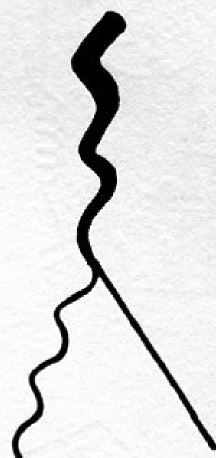
versterking (fig. 70). Voor grootere duidelijkheid heb ik alleen de wegen van de plaatstroomen i_1, i_2 en i_3, respectievelijk van de lampen V_1, V_2 en V_3 geteekend. De kringen van de roosters en van de schermroosters zijn weggelaten. Volg nu eens met je potlood de wegen van de plaatstroomen. Je ziet, dat i_1, na de kathode van V_1 te hebben verlaten, door LC loopt, door de met i_1 aangeduide leidingen, door de hoogspanningsbron van den plaatstroom en weer door andere met i_1 aangeduide leidingen dwars door R_1 heen (de polarisatie-weerstand voor de negatieve roosterspanning) naar de kathode terugkeert. Volg nu op dezelfde manier den plaatstroom i_2 van de tweede lamp. Wat zie je dan?



Vr. — Inderdaad! Voor een deel van zijn weg loopt hij door dezelfde leidingen en ook door dezelfde hoogspanningsbron als de stroom i_1. En hetzelfde geldt voor i_3; zoowel door de hoogspanningsbron als door de leidingen, die met $i_1 + i_2 + i_3$ zijn aangeduid, loopen tegelijkertijd drie stroomen. Er moet daar een niet te ontrafelen warboel ontstaan!

W. — Als de hoogspanningsbron en de leidingen geen enkelen weerstand bezaten, zou er heelemaal geen vermenging te vreezen zijn. Helaas is dat

niet het geval. Ieder van de stroomen veroorzaakt in die gemeenschappelijke weerstanden een spanningsval. Die, welke veroorzaakt worden door de constante componenten (gelijkstroom-componenten) van de stroomen, zijn zelf constant en vormen geen enkel bezwaar. Maar dit is niet het geval voor wat de veranderlijke componenten aangaat. Die wekken in de gemeenschappelijke weerstanden veranderlijke spanningen op, die ook op de andere kringen terecht komen. Zoo zal blijken, dat de spanningen, die opgewekt zijn door den veranderlijken component van i_1, tusschen de kathoden en de anoden van V_2 en V_3 komen te staan. En hetzelfde zal gelden voor de andere stroomen.



Vr. — Ik zie, dat dit een verschrikkelijke koppelarij tusschen alle lampen wordt, want de stroomvariaties van elke lamp werken onmiddellijk terug op de spanningen van de electroden der andere lampen. Dat zal ongetwijfeld aanleiding geven tot zeer onaangename verschijnselen.

W. — Dat spreekt! Al naar het geval is, ontstaat er een afname van de versterking (als de spanningen, die van de andere lampen komen, in de tegengestelde richting werken als de trillingen van de lamp zelf), of, vaak, geven deze koppelingen aanleiding tot wild genereeren (ingeval de door de andere lampen opgedrongen trillingen in dezelfde richting werken als de eigen trillingen van de lamp).

Vr. — Maar er moet toch een middel bestaan om de lampen onafhankelijk van elkaar te maken?

W. — Ja! Dat middel, *ontkoppeling* genaamd, bestaat hierin, dat men de variabele componenten van den plaatstroom niet door het heele ontvangtoestel en door de gemeenschappelijke verbindingen en de hoogspanningsbron laat loopen.

DE TRIOMF VAN HET INDIVIDUALISME.

Vr. — Ik veronderstel, dat te dien einde in de eerste plaats de variabele component van den gelijkstroom-component gescheiden moet worden?

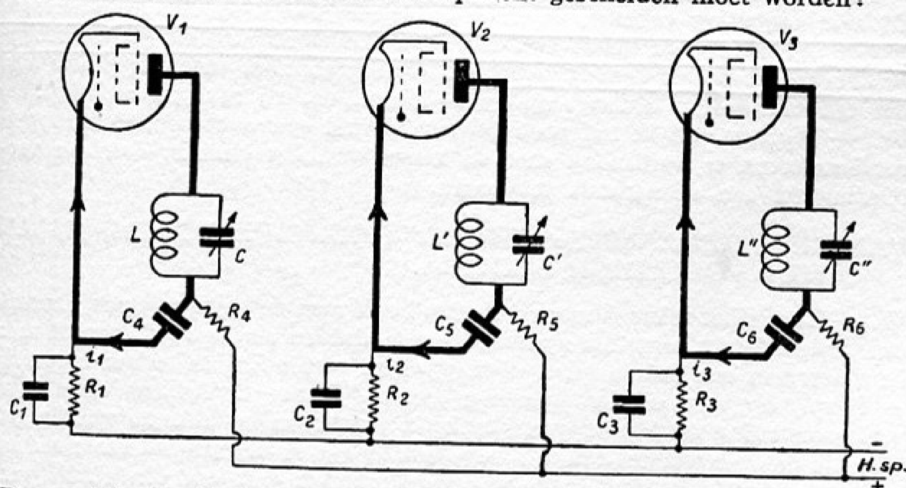


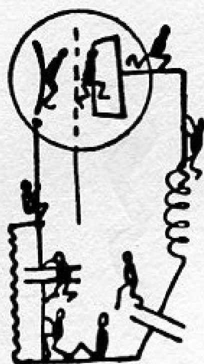
Fig. 71. Hier doorloopt, dank zij de ontkoppeling, de wisselstroom-component van den stroom van elke lamp een eigen weg. (Met dikke lijnen aangegeven.)



W. — Dat is zoo! Zoodra de geheele plaatstroom i_1 door de plaatimpedantie is gegaan — in dit geval den kring LC (fig. 71) — scheidt men den wisselstroomcomponent van den gelijkstroomcomponent door een vertakking, gelijk aan die, welke je toegepast hebt gezien voor de regeling van de terugkoppeling met behulp van een variabelen condensator. De wisselstroom-

Chassis

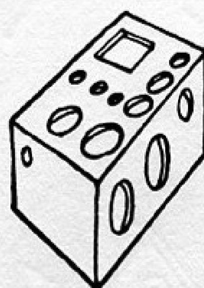
component keert onmiddellijk naar de kathode terug via den condensator C_4, die zich daarentegen verzet tegen het passeeren van den gelijkstroom. Deze laatste maakt gebruik van den weg van den weerstand R_4 en keert pas naar de kathode terug, als hij door de hoogspanningsbron en den polarisatie-weerstand R_1 is gegaan. Zoo zie je, dat de baan van den wisselstroom-component beperkt is tot den eigen kathode-anodekring van elke lamp. (In fig. 71 met dikke lijnen aangeduid.) Nergens loopt de wisselstroom-component van de eene lamp door de stroomwegen van die der andere lampen.



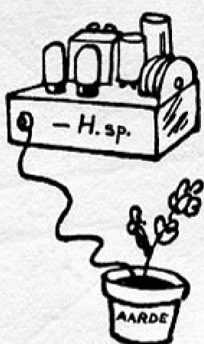
Vr. — Kortom, als ik het goed begrepen heb, de ontkoppeling verzekert aan de lampen de volledige overwinning van het individualisme.

W. — Je hebt volkomen gelijk. Merk nu nog op, dat de ontkoppeling ook het voordeel heeft de gevaren van de ongewenschte inductieve koppelingen te verminderen, doordat de wegen der wisselstroom-componenten verkort worden. Nu kan ik het volledige schema voor je teekenen (fig. 72) van een versterkingstrap, zooals men die in de moderne ontvangtoestellen maakt. Het is precies hetzelfde als het schema van fig. 71.

Vr. — Toch niet heelemaal, lijkt mij. In fig. 71 komen de ontkoppelcondensatoren C_4, C_5 en C_6 direct terug bij de kathoden der overeenkomstige lampen. In fig. 72 echter ligt de ontkoppelcondensator C_3 aan de — H-sp.



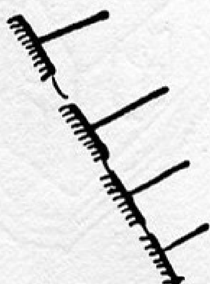
W. — Je hebt gelijk. Theoretisch is deze laatste constructie minder doeltreffend, want de variabele component van den plaatstroom moet in plaats van alleen door den ontkoppelcondensator naar de kathode terug te keeren, daarentegen ook den polarisatie-condensator C_1 doorloopen, wat natuurlijk vermoeiender voor hem is. Toch biedt deze montage in de practijk vele voordeelen. Je hebt ongetwijfeld al opgemerkt, dat een aantal verbindingen van een ontvanger uitloopen op de negatieve pool van de hoogspanning. Ten einde die negatieve pool op den kortst mogelijken afstand van de er mee verbonden onderdeelen te hebben, brengt men een gemeenschappelijke — H-sp-leiding aan van dik draad, die den geheelen ontvanger doorloopt. Of, wat nog vaker gebeurt, de heele ontvanger wordt op een metalen raam (*chassis*) gebouwd; de massa van dat raam zelf wordt dan als gemeenschappelijke minus-hoogspanning gebruikt. Overigens zegt men, in plaats van dat een verbinding uitloopt op de — H-sp., dat zij aan „massa" ligt.



Vr. — Kortom, als ik het goed begrijp, is het eenvoudiger de ontkoppelcondensatoren te verbinden met de massa van het chassis, dan een verbinding tot aan de kathode te voeren.

VAN HET „GERAAMTE-SCHEMA" (PRINCIPE-SCHEMA) NAAR HET VOLLEDIGE SCHEMA.

W. — Zoo is het zeker, Vraagal! Voorts heeft men de gewoonte aangenomen om „massa" met hetzelfde symbool aan te duiden als „aarde", zoodat men in plaats van een enkele gemeenschappelijke verbinding te teekenen van de — H-sp., op verschillende plaatsen „massa" teekent. Volgens deze wijze van voorstelling zal fig. 72 overgeteekend worden in het schema van fig. 73. Maar je dient je wel goed in te prenten, dat als je in een schema verscheidene malen „massa" ziet, het in werkelijkheid slechts gaat om één enkele verbinding, die naar de negatieve pool van de hoogspanning loopt.



Vr. — En weet ik nu alles, wat men moet weten over de voetangels en klemmen van de ontvangtoestellen om een geschikt schema te kunnen samenstellen, waarnaar men een ontvanger kan bouwen, die werkelijk werkt?!

W. — Ja, ik denk, dat je nu op enkele dingen na alles weet, wat daarvoor noodzakelijk is. Overigens behoeven we niets anders te doen, dan het schema weer ter hand te nemen, dat je in je naïeve onschuld al had geschetst in ons twaalfde gesprek. We trachten het nu voor de practijk geschikt te maken.

Laten we het eerst — dat is een uitstekende methode — eens schematisch schetsen.

Vr. — Ik hoop, dat je de twee hoogfrequent-trappen met pentoden zult uitrusten . . .

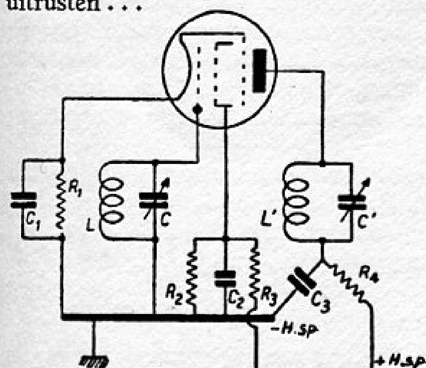


Fig. 72. Ontkoppelde schakeling van een pentode.

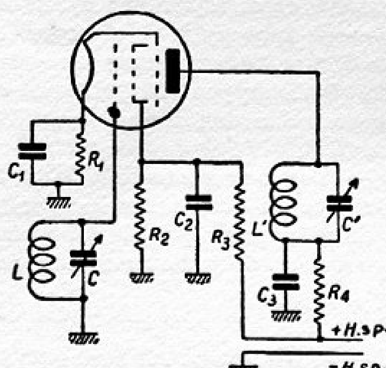
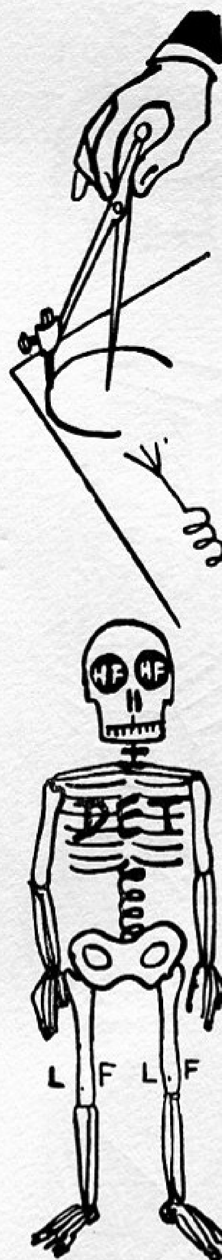


Fig. 73. Hetzelfde schema als in fig. 72, maar nu geteekend met het symbool voor *massa.*



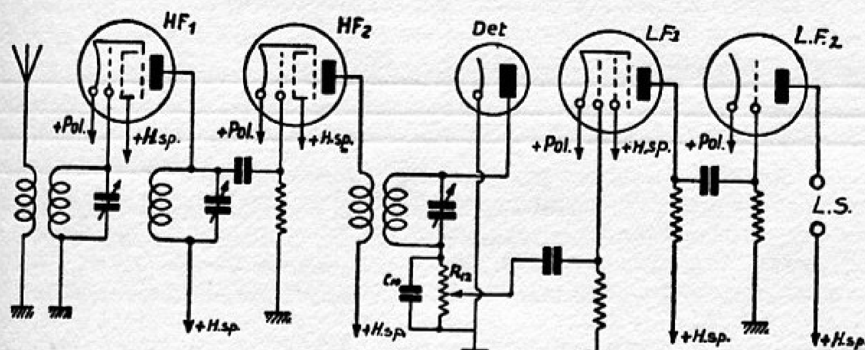


Fig. 74. Het „geraamte-schema" of „principe-schema" van een ontvanger met twee trappen H.F.-versterking.

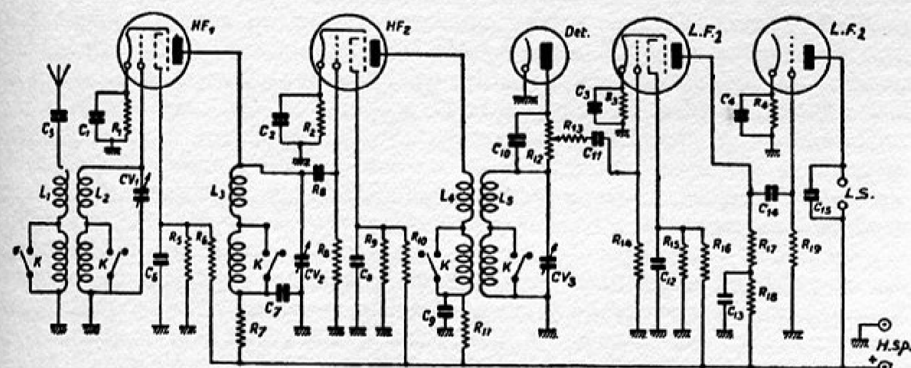
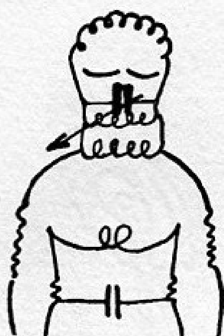


Fig. 75. Het definitieve schema voor het ontvangtoestel. Het doel van den weerstand R_{13} is den weg te blokkeeren voor den H.F.-component, waarvan na de detectie nog een spoor overblijft.

W. — Zooals je uit fig. 74 kunt zien, ga ik zelfs nog verder, door ook op op de eerste laagfrequent-trap een pentode te gebruiken. Tegenwoordig worden liefst pentoden daarvoor gebruikt, vanwege de groote versterking,

meer golfbanden

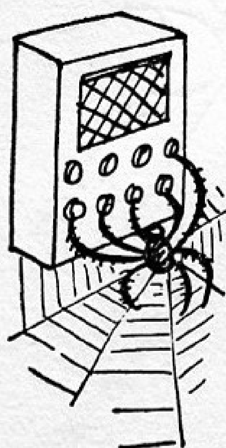


die zij geven. Je ziet, dat in dit schema alleen de voornaamste verbindingen tusschen de lampen zijn aangegeven. Wat de ontkoppelings-elementen betreft, deze bevat het schema niet, evenmin als de weerstanden, die de negatieve roosterspanning en de schermroosterspanning bepalen.

Vr. — Je hebt nu het principe-schema, het „geraamte" geteekend voor een toestel met twee trappen hoogfrequent-versterking met diode-detectie en met twee trappen laagfrequent-versterking. Zou je dat „geraamte" nu kunnen bekleeden met „vleesch", waardoor het een compleet organisme wordt?

W. — Dat is niet moeilijk. Hier heb je het volledige schema (fig. 75). Let vòòr alles op de polarisatie-weerstanden R_1, R_2, R_3 en R_4; de weerstanden, die de spanningen van de schermroosters bepalen, zijn R_5 en R_6, R_9 en R_{10}, R_{15} en R_{16}; de ontkoppelweerstanden zijn R_7, R_{11} en R_{18}...

ER ZIJN GOLVEN EN GOLVEN...

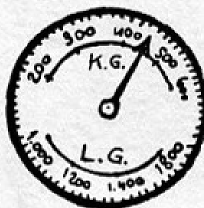


Vr. — Wacht even...! Er is nog iets anders, dat me erg nieuwsgierig maakt, namelijk die spoelen L_1, L_2, L_3, L_4 en L_5; zij schijnen in twee deelen verdeeld te zijn.

W. — Inderdaad. Elk dezer spoelen bestaat uit twee deelen. Alle onderste deelen kunnen tegelijk kortgesloten worden met behulp van den schakelaar K. Overigens geschiedt die handeling voor alle spoelen gelijktijdig met één enkelen knop, omdat de schakelaars op één enkele as geplaatst zijn, die zoo een schakelas vormt.

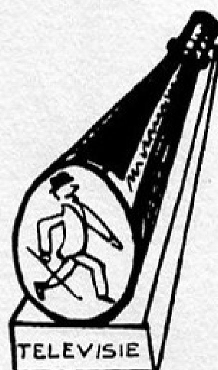
Vr. — Gelukkig! Anders zou men om een dergelijk toestel te regelen, een soort spin met verscheidene paren armen moeten zijn...

W. — Als de schakelaars gesloten zijn, blijven alleen de bovenste deelen van de spoelen in de kringen. Met die spoelen maakt de volledige rondgaande slag der variabele condensatoren het mogelijk de kringen af te stemmen op golflengten van ca. 200 tot ca. 550 m (of, juister gezegd, op de daarmee overeenkomende frequenties). Dat is, wat we de middengolfschaal noemen (of afgekort: M.G.). Maar in Europa zijn de golflengten der radiozenders in twee „banden" of „schalen" verdeeld. Want behalve zenders, waarvan de golflengte in de middengolfschaal ligt, werken verscheidene zenders op golflengten tusschen 1000 en 2000 m, die de langegolfschaal vormen (L.G.). Om de lange golven te ontvangen, vergroot men de zelfinductie der kringen met behulp van de onderste, bijschakelbare spoelen, die men in serie schakelt met de spoelen voor de middengolf. Met behulp van den schakelaar K worden zij tijdens de ontvangst der middengolven kortgesloten. Voor de lange golven worden de schakelaars K geopend en dan neemt derhalve de zelfinductie van alle spoelen toe, omdat zij dan elk bestaan uit twee spoelen in serie.



Vr. — Wat een geluk, dat er slechts twee schalen zijn, anders werd dat weer verdraaid ingewikkeld.

W. — Maar, Vraagal, ik heb je nog niet gezegd, dat er ook zenders zijn, die op golflengten beneden de 200 m werken. Dat zijn de „korte golven". Sommige zenders, vooral die voor televisie, werken zelfs op golflengten beneden de 10 m, d. w. z. op *ultra-korte golven*. Om alle golfbanden te kunnen ontvangen moet men de beschikking hebben over verscheidene waarden voor de zelfinducties. Zoo moet men, om zonder onderbreking het geheele bereik van 12 tot 2000 m te kunnen doorloopen met een variabelen condensator van 500 picofarad, de beschikking hebben over 5 toenemende zelfinductiewaarden.

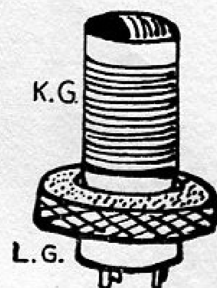


Vr. — Ik denk, dat de schakeling dan wel buitengewoon ingewikkeld wordt?

W. — Niet zoo erg! Een omschakelaar voor vijf afstanden — dat is slechts een vergrooting van dien, welken wij al bestudeerd hebben — maakt op

dezelfde wijze de inschakeling van achtereenvolgens vijf wikkelingen mogelijk (fig. 76a). Men kan ook voor elke schaal een afzonderlijke spoel gebruiken en de andere dan ongebruikt laten. Tegenwoordig zijn sommige ontvangtoestellen uitsluitend voor de lange en middengolven bestemd. Andere ontvangen bovendien een of meer kortegolfbanden. Men noemt dat „ontvangers voor alle golven".

Vr. — Ik bekijk nog eens het schema van het toestel (fig. 75), maar ik kan mij de merkwaardige plaats van condensator C_7 niet verklaren. Waarschijnlijk is dat de ontkoppelings-condensator (met den weerstand R_7) van den plaatkring van de eerste lamp. Maar waarom is-t-ie geplaatst in den trillingskring, die door L_3 en CV_2 wordt gevormd?!



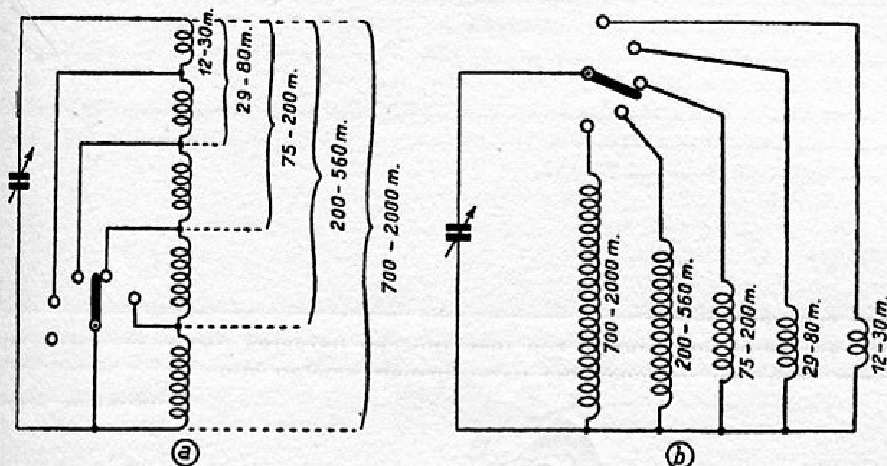
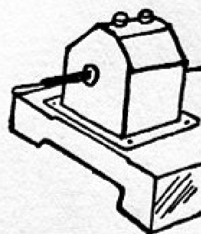
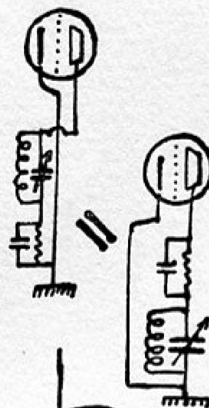


Fig. 76 en 77. Twee methoden van omschakeling voor vijf golfbanden.
a. Serie-omschakeling; b. Omschakeling met geheel aparte spoelen.

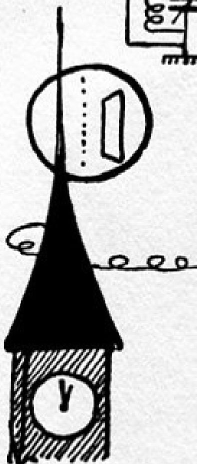


W. — Om een zeer prozaïsche reden: in de moderne variabele condensatoren zijn de draaibare platen niet meer geïsoleerd ten opzichte van het metalen condensatorhuis (alleen de vaste platen zijn geïsoleerd). Op zijn beurt is het condensatorhuis aan de metalen massa van het chassis bevestigd, dat de negatieve potentiaal van de hoogspanning heeft. Het is dus noodzakelijk, dat in ons toestel de beweegbare platen van CV_2 op de — H-sp. potentiaal zijn. Nu, spoel L_3 is via R_7 verbonden met + H-sp. Met het oog op de gelijke spanning is het dus noodig de draaibare platen van L_3 te scheiden, zonder in ieder geval den trillingskring voor den hoogfrequenten stroom te onderbreken. Condensator C_7, die een tamelijk groote capaciteit heeft, leent zich zeer wel daartoe; terwijl hij de hooge frequentie heel vrij laat passeeren, verhindert hij den gelijkstroom om door R_7 heen van + H-sp. naar — H-sp. te gaan.



Vr. — Die uitlegging van zooeven heldert voor mij een ander probleem op, waarnaar ik gedurende een oogenblik erg nieuwsgierig was. Ik vroeg me af, waarom de detectie-onderdeelen R_{12} en C_{10}, die zich in het principe-schema tusschen den kring L_5CV_3 en de massa bevonden, nu tusschen dien kring en de anode van de diode zijn geplaatst. Ik denk ook dat je dat met de bedoeling gedaan hebt om de platen van CV_3 aan de massa te leggen.

W. — Ik zie, dat je de zaak goed begrepen hebt en ik meen, dat, waar zelfs de meest achterloopende klokken al middernacht hebben geslagen, wij hier ons onderhoud wel mogen afbreken.



Vr. — Zeg mij alleen nog even, waarom staat die pijl op den detectieweerstand R_{12}?

potentiometer (volumeregelaar).



W. — In werkelijkheid is die weerstand een *potentiometer* . . .
Vr. — Is dat een instrument om de potentiaal te meten?
W. — Neen, Vraagal, de afleiding van dat woord brengt je in de war. Een *potentiometer* is een weerstand, waarop een *schuifcontact* (in het schema door dien pijl voorgesteld) het mogelijk maakt contact te maken op een der tusschenliggende punten.
Vr. — Maar waarom zit hij in dit toestel?
W. — Aan den weerstand R_{12} treden de gelijkgerichte spanningen op. Nu kan het voorkomen, dat deze te hoog zijn en dat zij na de laagfrequente versterking een te krachtig geluid opleveren. Om de geluidsterkte te verminderen, is het nu voldoende als aan de volgende lamp slechts een deel van de gelijkgerichte spanning wordt toegevoerd. Dat is hier mogelijk dank zij den potentiometer R_{12}, waarvan het schuifcontact een grooter of kleiner deel van de opgewekte spanning aftakt. Dus R_{12} dient voor de regeling van de geluidsterkte (*volumeregelaar*).
Vr. — Dat is dan inderdaad een zeer nuttig ding, en ik vind het erg jammer, dat mijn bovenbuurman, die verzot is op een trekpiano, ook niet van zoo'n potentiometer gebruik maakt.



VIJFTIENDE GESPREK

Tot nu toe heeft Weetal met opzet het voedingsprobleem terzijde gelaten. Hij sprak wel over de bronnen voor den gloeistroom en den plaatstroom, zonder echter de samenstelling daarvan nader te omschrijven. Nu zal Vraagal hooren, hoe de apparaten voor gelijkrichting en afvlakking van wisselstroom zijn samengesteld. De mogelijkheid van de voeding uit het gelijkstroomlichtnet zal eveneens behandeld worden, zoodat de voeding voor onzen lezer geen enkel geheim meer heeft.

VOEDINGSPROBLEMEN.

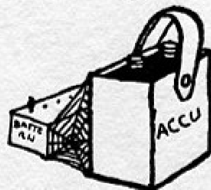


Vr. — Ik heb soms het gevoel van een dorstigen reiziger, die in de woestijn achter een misleidende luchtspiegeling aangaat. Zoo was het, toen ik tijdens ons laatste onderhoud meende eindelijk een volledig en definitief schema voor een ontvangtoestel te hebben. Maar toen ik eenmaal weer thuis was, moest ik met teleurstelling constateeren, dat er nog wel wat aan ontbrak.

W. — Wat dan, arme jongen?

Vr. — Een zeer belangrijk onderdeel: het voedingsapparaat, dat jij eenvoudig met de letters H-sp. (hoogspanning) hebt aangegeven. Maar die hooge spanning komt waarschijnlijk niet als een bliksemflits uit den hemel vallen?

W. — Je hebt gelijk! Maar je kunt altijd veronderstellen, dat het ontvangtoestel gevoed wordt door een batterij van elementen of door accumulatoren.



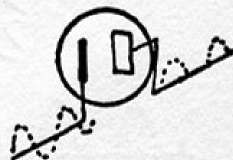
Vr. — Ik houd er heelemaal niet van zulke veronderstellingen te maken. Ik weet heusch wel, dat men al sinds lang geen elementen of accu's voor de voeding van een ontvangtoestel meer gebruikt. Daar zorgt tegenwoordig altijd de stroom van het lichtnet voor. Zooals de advertenties zeggen: „Een stopcontact . . ., meer hebt u niet noodig". Maar wat mij onbegrijpelijk voorkomt, is, dat hoewel de stroom in de meeste plaatsen wisselstroom is, men er toch gebruik van maakt om een gelijkspanning tusschen de kathoden en de anoden der lampen te verkrijgen . . .

W. — Men bereikt dat door den wisselstroom vooraf gelijk te richten. Een wisselstroom *gelijkrichten* wil zeggen: hem verhinderen in de beide richtingen te loopen door hem één bepaalde richting op te dringen.



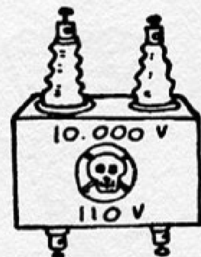
Vr. — Feitelijk is die gelijkrichting dus niets anders dan *detectie.*

W. — Ja, de methode en de gebruikte middelen zijn dezelfde. Alleen, hier hebben wij te doen met zg. technischen stroom van een frequentie, die ligt tusschen 25 en 60 perioden per seconde en ook moeten wij een vrij hooge stroomsterkte gelijkrichten: verscheidene tientallen mA. Voor de gelijkrichting gebruiken wij vanzelfsprekend een diode, waarvan de electroden grooter zijn dan die eener ontvangst-detectiediode. Deze diode wordt „gelijkrichterlamp" of „plaatstroomlamp" genoemd.



Vr. — Men behoeft dus slechts een dergelijke gelijkrichterlamp op het lichtnet aan te sluiten, teneinde aan den stroom daarvan één richting op te dringen, want de electronen kunnen alleen van de kathode naar de anode bewegen en niet omgekeerd.

W. — Zoo is het! Het komt er niet op aan, of die lamp aan de plus- of aan de minus-zijde van de hoogspanning wordt geplaatst, d.w.z. bij den uitgang of bij den ingang van de electronen. Het voornaamste is er op te letten, dat de richting van den door de lamp toegelaten stroomloop zoodanig is, dat de electronen den ontvanger binnen komen, dat zij in de lamp van de kathode naar de anode gaan.

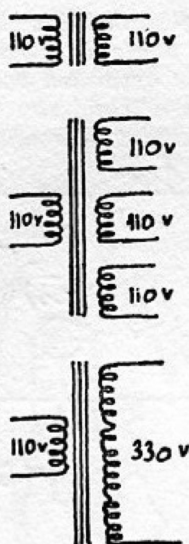


PAS OP! . . . HOOGSPANNING!

Vr. — Maar ik ben erg bang, dat de aldus verkregen hoogspanning onvoldoende is. Bijvoorbeeld ons net geeft maar 110 V. Nu, je hebt me verteld,

dat sommige lampen tusschen de anode en de kathode een spanning eischen van verscheidene honderden volts. Wat moet ik dan met mijn honderd en tien beginnen . . .?

W. — Bovendien zul je daar nog een deel van verliezen door het spanningsverlies in de lamp, die, dat mag je niet vergeten, een zekeren inwendigen weerstand heeft. Je bent er dus nog niet veel op vooruit gegaan . . .; gelukkig beschikken wij over een zeer eenvoudig middel, dat het mogelijk maakt de spanning van den wisselstroom tot de gewenschte hoogte op te voeren.



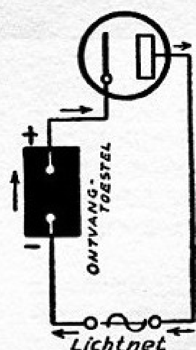


Fig. 78. Het schema van een allereenvoudigsten gelijkrichter.

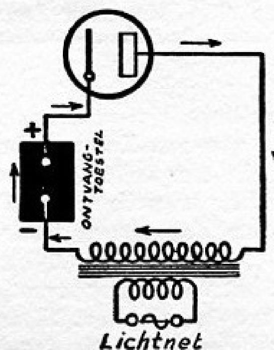


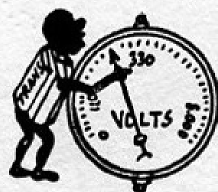
Fig. 79. Gelijkrichter met een transformator, die de spanningen opvoert.

Vr. — Wat is dan dat wonderlijke middel?

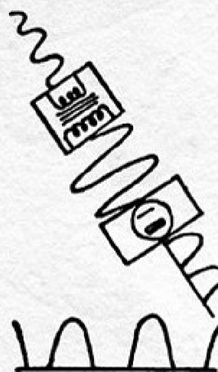
W. — Een oude kennis van ons: de *transformator*. Veronderstel eens, Vraagal, dat we een transformator hebben met een gelijk aantal primaire en secondaire windingen. Als je nu aan de primaire 110 V geeft, welke spanning zal er dan aan de uiteinden van de secondaire ontstaan?

Vr. — Dezelfde, denk ik, want de beide wikkelingen zijn eender.

W. — Dat is goed geredeneerd. Maar veronderstel nu eens, dat de transformator verscheidene secondaire wikkelingen heeft, drie bijvoorbeeld, die elk hetzelfde aantal windingen hebben als de eerste. Als we in dat geval aan de primaire 110 V geven, krijgen wij steeds 110 ook op elk der secondaire. Laten wij nu die drie secondaire wikkelingen eens in serie met elkaar verbinden. De spanningen worden dan samengevoegd, zoodat wij tusschen het begin van de eerste en het einde van de derde een spanning van 330 V verkrijgen.



Vr. — Ik zie, dat onze drie secondairen tezamen dus één wikkeling vormen. En om je te toonen, dat ik nog in staat ben gevolgtrekkingen te maken: ik concludeer hieruit, dat het met een transformator mogelijk is een spanning evenveel maal te verhoogen of te verlagen, als de secondaire spoel meer, respectievelijk minder windingen heeft dan de primaire.



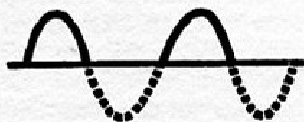
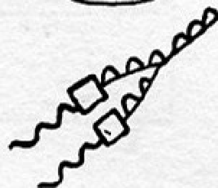


Fig. 80. *Met getrokken lijnen:* de vorm van den door de apparaten volgens fig. 78 en 79 gelijkgerichten stroom. *Met stippellijnen:* de door de lamp tegengehouden, niet gebruikte halve perioden.

W. — Enorm! Vraagal! Je spreekt als een natuurkundige verhandeling en je bent je naam hoe langer hoe minder waard. (Je *weet* nu meer dan je *vraagt*.) Zoo zie je dus, dat het met een transformator erg gemakkelijk is de spanning te verhoogen vóór de gelijkrichting van den stroom (fig. 79). Wij kiezen de verhouding van het aantal windingen (of: de *transformatie-verhouding*) in overeenstemming met de spanningsverhooging, die wij willen verkrijgen.





Vr. — Toch is er in dit alles nog iets, dat mij hindert. Iedere periode van den wisselstroom heeft twee phasen: één heen en één terug. Nou, wij gebruiken er maar één van (fig. 80). Zou men niet, door een of ander trucje, ook den stroom van de tweede halve periode (phase) kunnen verplichten om in den door hem gevoeden ontvanger dezelfde vereischte richting aan te nemen?

DE KUNST OM OOK DE OVERGESCHOTEN STROOM-WISSELINGEN TE GEBRUIKEN.

W. — Ja, dat wordt verwezenlijkt bij de „tweezijdige gelijkrichting" der beide stroomhelften. Wij zullen daartoe twee voedingsapparaten gebruiken,



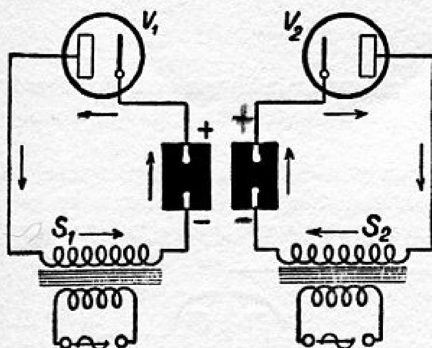


Fig. 81. Deze twee gelijkrichters zijn gelijk aan die van fig. 79. Zij richten elk één halve periode gelijk.

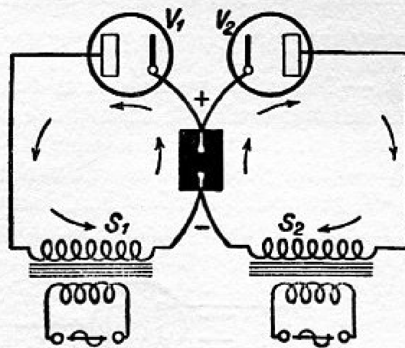
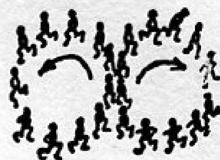


Fig. 82. De twee gelijkrichters van fig. 81 voeden denzelfden ontvanger, doordat zij beide halve perioden gelijkrichten.



gelijk aan die van fig. 79. Door ze naast elkaar te plaatsen zien wij, dat in alle twee de stroom den ontvanger in dezelfde richting doorloopt (fig. 81). Zoo kunnen wij dus één enkelen ontvanger voeden (fig. 82). Elk der lampen zal één der twee stroomhelften doorlaten. Je kunt de stroombaan van elke halve periode natuurlijk gemakkelijk volgen.

Vr. — Werkelijk! Als gedurende één halve periode de electronen de secondaire wikkelingen van links naar rechts doorloopen, zullen zij door den ontvanger gaan na S_1 verlaten te hebben. Dan gaan zij in V_1 van de kathode naar de anode en keeren naar S_1 terug. Zij kunnen daarentegen niet door S_2 loopen, want de stroomrichting van de anode naar de kathode in V_2 is hun versperd. Als zij tijdens de volgende halve periode in de secondaire van rechts naar links gaan, zullen zij bij het verlaten van S_1 tegen de anode van V_1 botsen, waar zij tegengehouden worden. Maar zij zullen bij het verlaten van S_2 daarentegen met gemak door den ontvanger en de lamp V_2 heensnellen om naar S_2 terug te keeren. In beide gevallen doorkruisen de electronen den ontvanger in dezelfde richting.

W. — Zoo zie je, dat we beide halve perioden van den stroom gebruiken (fig. 84). Merk nu nog op, dat de twee secondaire spoelen een punt gemeen hebben. Wij kunnen dus de twee transformatoren door één enkelen vervangen, waarvan de secondaire in het midden een aftakking heeft. Bovendien

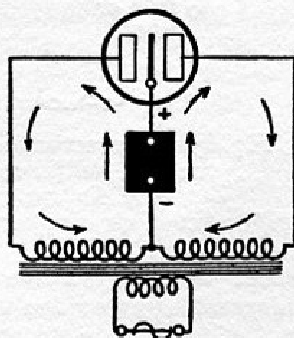
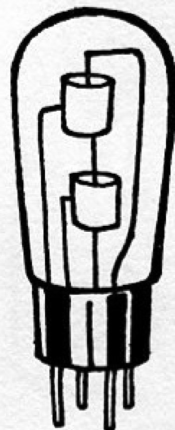


Fig. 83. Men kan de twee lampen van fig. 82 vervangen door één lamp met twee platen: „dubbele gelijkrichterlamp".



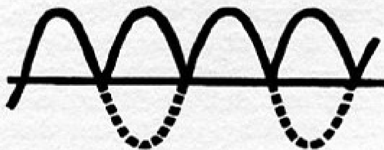
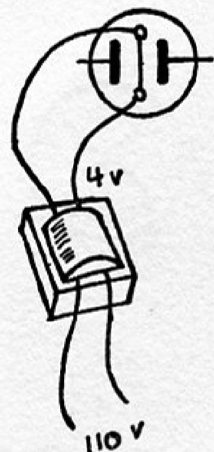
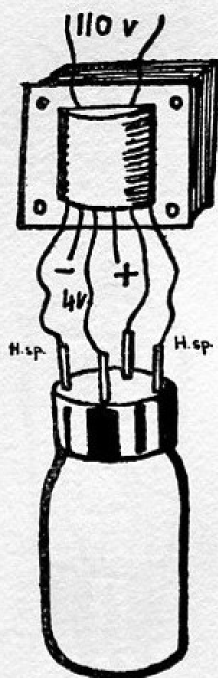


Fig. 84. *Met getrokken lijnen:* De vorm van den stroom, die verkregen wordt door gelijkrichting van beide halve perioden. *Met stippellijnen:* De door de eene anode tegengehouden, maar door de andere gelijkgerichte halve periode.



worden de kathoden der beide lampen gecombineerd. Laten we verder de twee lampen in een gemeenschappelijken glazen ballon plaatsen en de twee kathoden door één gemeenschappelijke vervangen. Zoo krijgen we dan een lamp met twee anoden of een „dubbele plaatstroomlamp", waarvan de schakeling in fig. 83 is voorgesteld.

EVENWICHTSVRAAGSTUKKEN.



Vr. — Maar hoe voed je in al die gelijkrichtingsschakelingen den gloeidraad van de lamp ten einde de kathode op de temperatuur te brengen, die noodig is voor de electronen-emissie?

W. — Die gloeidraad wordt verhit door een wisselstroom op lage spanning (4 V gewoonlijk). Men kan daarvoor ook een tweeden transformator gebruiken, die de spanning verlaagt. Maar meestal wordt de gloeispanning

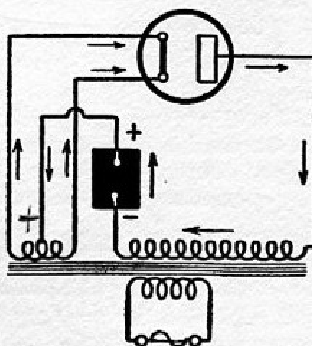


Fig. 85. Het practische schema van den gelijkrichter van fig. 79.

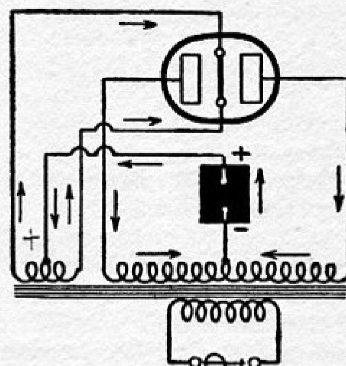
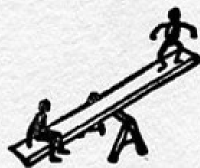


Fig. 86. Het practische schema van den gelijkrichter van fig. 83.

(De pijlen geven de richting van den gelijkgerichten electronenstroom aan).

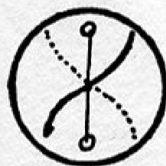
verkregen door een kleine secondaire wikkeling, die behalve de hoogspanningswikkeling op den voedingstransformator is aangebracht. Overigens, gezien het feit dat de stroom, dien de lampen moeten leveren, betrekkelijk sterk is, hebben zij meestal de direct verhitte kathode: de gloeidraad zelf dient als kathode, die de electronen uitzendt.



Vr. — En wordt zij in dat geval eveneens door wisselstroom gevoed?

W. — Natuurlijk. Zoo zien dan onze gelijkrichtingstoestellen (zg. *plaatstroomapparaten*) voor één (fig. 79) of voor twee (fig. 83) halve perioden er in de praktijk uit, zooals de figuren 85 en 86 aangeven.

Vr. — Maar waarom is dan in die schema's de ontvanger in plaats van direct met den gloeidraad van de lamp verbonden te zijn, gekoppeld aan een aftakking in het midden van de gloeispanningswikkeling van den transformator?



W. — Omdat, terwijl de kathode van de lampen met indirecte verhitting op alle punten dezelfde potentiaal had, hier daarentegen de gloeidraad, waar de wisselstroom doorloopt, in alle punten een veranderlijke spanning heeft. Ten opzichte van het middelpunt hebben de uiteinden afwisselend een spanning van + 2 en — 2 V.

Vr. — Dat doet me denken aan die wipplank uit mijn jeugd, die ik maakte door een lange plank op een schraag in evenwicht te leggen.

W. — Goed! Het eenige punt, van die wip, dat onbeweeglijk bleef, was het middelpunt. Zoo is ook in den gloeidraad het punt, welks potentiaal constant is, het middelpunt. Maar, omdat het moeilijk is daarbinnen in de lamp bij te komen, verbinden wij den ontvanger met het middelpunt van

de gloeispanningswikkeling. Uit het oogpunt van de potentiaal zijn die twee punten dus in evenwicht.

EAU DE COLOGNE EN . . . „AFVLAKKING" VAN DEN GELIJKGERICHTEN STROOM.

Vr. — Wat mij eenigszins verontrustend voorkomt, is, dat in onze gelijkrichters de kathode de positieve pool is en de wikkeling, die aan de anode ligt, de negatieve. Tot nu toe was ik gewend in de lampen van ons ontvangtoestel de plus te vinden aan de zijde van de anode en de minus aan den kant der kathode.

W. — Je maakt je noodeloos ongerust, Vraagal. Het is toch gewoon, dat datgene, wat als energieleverancier dienst doet, juist het omgekeerde is van den verbruiker . . . En dan, vergeet niet, dat wij „anode" noemen het punt, waar de electronen vertrekken en „kathode", dat waar zij binnenkomen. Welnu, als zij de anoden der lampen van den ontvanger *verlaten*, komen de electronen binnen bij de kathode van den gelijkrichter, *verlaten* diens anode en *komen binnen* in de kathoden der ontvanglampen. Je ziet, dat dat alles heel normaal is.

Vr. — Werkelijk. Maar . . . neem me niet kwalijk, ik heb vandaag reuzen zin om tegenwerpingen te maken . . . Maar, zeg ik, de stroom, dien de gelijkrichter levert (fig. 80 of 84) heeft lang niet die mooie gelijkmatigheid, waardoor de gelijkstroom wordt gekarakteriseerd. Jouw gelijkgerichte stroom, al verandert hij dan ook niet van richting, is desniettemin een stroom van een voortdurend veranderende sterkte.

W. — Zeker. Als je hem zoo ruw doorgeeft aan de ontvanglampen, zullen de plaatstroomen daarvan die veranderingen volgen, welke dan in den luidspreker worden omgezet in oorverdoovend geroffel.

Vr. — Maar er zal toch zeker wel een middel zijn om van dien gelijkgerichten stroom een volkomen gelijkstroom te maken, niet?

W. — Natuurlijk! Dat geschiedt door „afvlakking", of zooals men ook wel zegt: door *zeving*. De ongezeefde gelijkgerichte stroom is te vergelijken met zoo'n straal eau de cologne, als die goedkoope sproeiflacons geven, die maar één bal hebben, waarin men herhaaldelijk moet knijpen. Door een ventiel aan weerskanten van den bal veroorzaakt de afwisselende beweging van samenpersing en terugzwelling een beweging van de lucht in één richting, hoewel erg hortend en stootend.

Vr. — Dat is dus een gelijkrichter!

W. — Net als je zegt! . . . Maar bij de betere soort van flacons verkrijgt men een regelmatiger hoeveelheid eau de cologne, dank zij een tweeden bal, die achter den eersten wordt geplaatst. Die tweede bal, waarvan de gummiwanden erg dun en rekbaar zijn, zet uit op het oogenblik, dat hij van den eersten een hoeveelheid lucht toegevoerd krijgt. Vervolgens, terwijl de eerste weer lucht inzuigt en opzwelt, loopt de tweede langzaam leeg en blaast in het gat van den flacon een regelmatigen straal lucht. Zoo vervult de tweede bal de rol van reservoir, dat bestemd is om den luchtdruk te regelen, doordat hij het overschot van de lucht opneemt op het moment, dat hij samengedrukt wordt en daarna leegloopt . . . Herinner je je niet een ding, dat in de electriciteit dezelfde rol vervult?

Vr. — De condensator! . . . Die heeft ook het vermogen zich te laden en te ontladen.

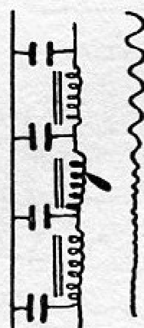
W. — Daarom gebruiken we voor de afvlakking een condensator. Door hem tusschen de positieve en de negatieve pool van den gelijkrichter te plaatsen, vlakken wij het afgegeven vermogen daarvan af. Toch zal een condensator, zelfs met een groote capaciteit, misschien niet voldoende zijn. Dan doen wij een beroep op het principe van het vliegwiel, dat bij de stoommachines



en de verbrandingsmotoren dient tot effening van de onregelmatigheid der door de heen en weer gaande zuigers opgewekte beweging. Door zijn traagheid handhaaft het vliegwiel de regelmaat van de beweging. Ken je nog een electrische grootheid, die zich op de manier van de traagheid verzet tegen de veranderingen van den stroom?

Vr. — Natuurlijk: de zelfinductie!

W. — Prachtig! In den weg van den gelijkgerichten stroom plaatsen wij



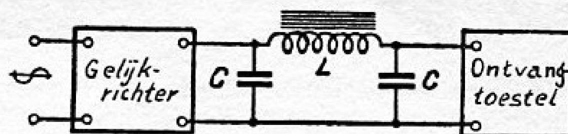


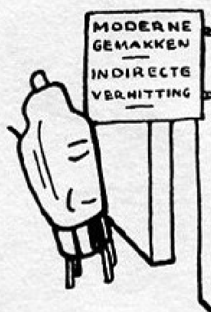
Fig. 87. Een zeefkring CLC, die geplaatst is tusschen den gelijkrichter en den ontvanger, dient tot „afvlakking" van den stroom.

dan ook een spoel met ijzeren kern (wij hebben immers te maken met een zeer lage frequentie) en met een zeer groote zelfinductie. Tenslotte voltooien wij onzen filter (fig. 87) door een tweeden condensator, die dient om de afvlakking te verbeteren. Voorts kan men, als men een uiterst zorgvuldige afvlakking wil hebben, van twee of drie in serie geschakelde *zeefkringen* gebruik maken, die samengesteld zijn zooals fig. 87 laat zien. Maar gewoonlijk is na één zeefkring de stroom voldoende afgevlakt om gebruikt te worden, zonder dat hij aanleiding geeft tot gebrom.

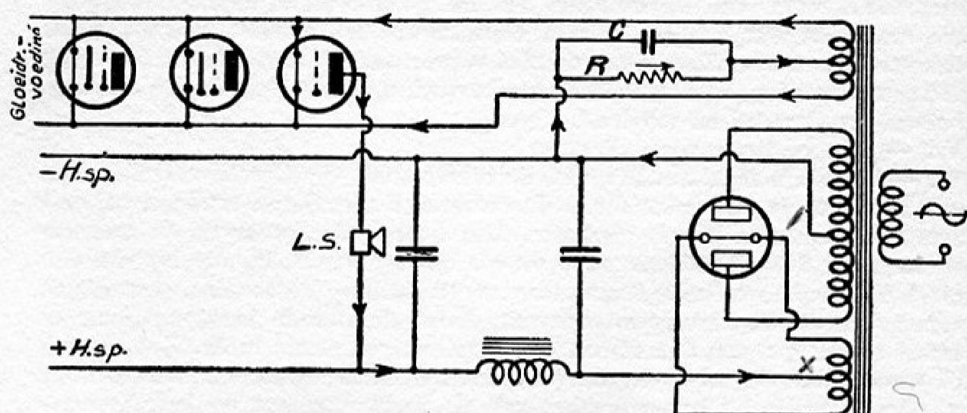


Vr. — Nog een laatste vraag: hoe verhit men de lampen van den ontvanger? Ik denk: óók door wisselstroom.

DE LAATSTE WOORDEN OVER DE VERHITTING.



W. — Dan vergis je je niet. Te dien einde brengt men op den voedingstransformator (fig. 88) nog een derde secondaire wikkeling voor lage span-



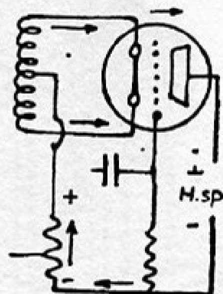


Fig. 88. De volledige voeding van een ontvangtoestel uit een wisselstroomlichtnet: gloeistroom, H-sp. gelijkrichting en afvlakking. De weerstand R met den ontkoppelingscondensator C dient om de eindlamp (met directe verhitting) te polariseeren. De pijlen wijzen de electronenstroomrichting aan van den plaatstroom van die lamp.

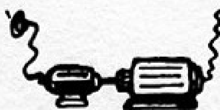
ning aan, welke dient voor de verhitting van de gloeidraden der lampen. Gewoonlijk zijn alle lampen indirect verhit, behalve soms de laatste lamp (*eindlamp*). Die lamp moet aan den luidspreker een vrij belangrijken stroom

leveren, en om nu een sterke electronen-uitzending te krijgen, zooals bij den gelijkrichter, geeft men er vaak de voorkeur aan den gloeidraad zelf als kathode te gebruiken.
Vr. — Maar hoe polariseert men een dergelijke lamp dan?
W. — Volgens hetzelfde principe als de lampen met indirecte verhitting: door de kathode positief te maken ten opzichte van het rooster met behulp van een weerstand, welke wordt ingeschakeld tusschen de kathode en de negatieve pool van de hoogspanning. Alleen, hier heeft de kathode een veranderlijke potentiaal. En evenals bij de direct verhitte lampen, niet met den gloeidraad zelf, maar met het middelpunt van de gloeispanningswikkeling verbinden we den polarisatie-weerstand, waarvan het andere einde met de negatieve pool der hoogspanning wordt verbonden... En nu, Vraagal, weet je alles, wat je weten moest over de voeding van de ontvangtoestellen.

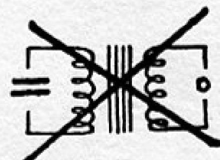


VRAAGAL BEGAAT EEN ONVERGEEFLIJKE FOUT.

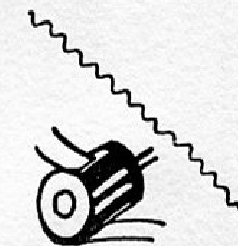
Vr. — Dat ben ik niet heelemaal met je eens. Vergeet niet, dat ik een oom heb, die spotprenten teekent, aan wien ik beloofd heb een ontvangtoestel te bouwen. Hij krijgt zijn stroom uit een gelijkstroomnet van 110 V.
W. — Juist, zeg wel „krijgt"! Want in het geval van een gelijkstroomnet behoeft hij er niet aan te denken de spanning aldus te verhoogen, tenzij hij een electromotor gebruikt, die op zijn beurt weer een dynamo noodig heeft.



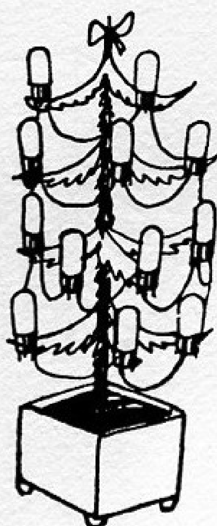
Vr. — En de transformator dan?
W. — Maar Vraagal! Je doet me blozen over zooveel domheid! Heb je dan, o domoor, alweer vergeten, dat een transformator gebaseerd is op het principe van de inductie, dat er in het geheel geen sprake is van inductie als er geen *verandering* van den stroom is?
Vr. — Ja, dat is zoo, daar heb ik niet aan gedacht. Bijgevolg zou een transformator bij gelijkstroom nergens voor dienen. Maar wat moet ik dan doen?



W. — Tevreden zijn met de spanning, die je hebt en er zoo min mogelijk van verkwisten door verlies. Er bestaan gelukkig speciaal voor dit geval gebouwde lampen, die zelfs bij een plaatspanning van 100 V nog een behoorlijk nuttig effect opleveren. Het spreekt vanzelf, dat wij nu den stroom niet behoeven „gelijk te richten". Het blijft niettemin noodig hem af te vlakken...
Vr. — Gelijkstroom afvlakken?? Terwijl hij „gelijk" is?!
W. — Wind je niet zoo op, vriendje! De stroom van het net, dien wij gelijkstroom noemen, is in werkelijkheid aan een lichte variatie onderhevig. Dat komt door de manier van opwekking zelf, door de zg. „gelijkstroomdynamo's". In werkelijkheid verwekken zij een wisselstroom, die gelijkgericht wordt door een synchronen, mechanischen gelijkrichter, *collector* geheeten.

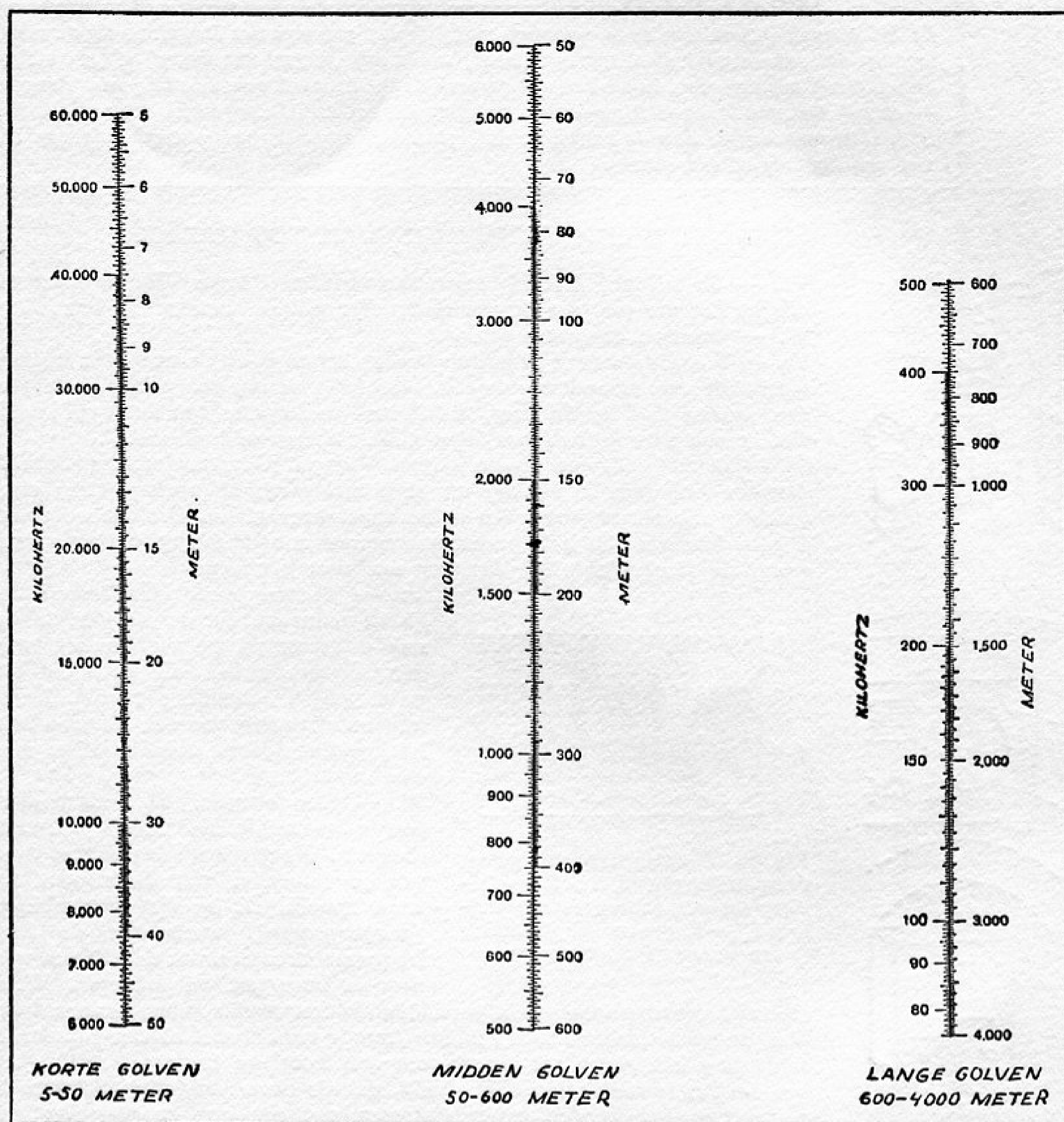


Vr. — Het is weer allemachtig ingewikkeld en ik begrijp er niets meer van.
W. — Als je nog eenig restje van begrip van de electrische machines had overgehouden, zou je mij begrepen hebben. Maar dat begrip is heelemaal niet noodzakelijk voor onze radio-studie. Het is genoeg, als je maar weet, dat de gelijkstroom van het net wegens die lichte golving afgevlakt moet worden, door een filter (zeef), gelijk aan dien van figuur 87. Dit geschiedt, vóórdat de stroom aan de ontvanglampen wordt doorgegeven.
Vr. — En de verhitting?
W. — Ook daarvoor is de gelijkstroom minder handelbaar dan de wisselstroom. Daar men in de onmogelijkheid verkeert de spanning met behulp van een transformator te verlagen, moet men een spanningsval veroorzaken



in een zorgvuldig berekenden „voorschakel"-weerstand, zoodat aan de gloeidraden juist de noodzakelijke spanning gegeven wordt, niet meer en niet minder. Overigens maakt men voor verhitting door gelijkstroom speciale lampen, waarvan de gloeidraad wordt verhit onder een spanning van tientallen volts. Men moet die gloeidraden in serie schakelen. Zoodoende is voor vijf gloeidraden, die elk 20 V behoeven, als zij in serie geschakeld worden, 100 V noodig. Men kan ze dus zonder gevaar op 110 V aansluiten, mits je de 10 V, die er nog te veel zijn overgebleven, in een serie-weerstand laat opgebruiken.
Vr. — Dat is dan hetzelfde systeem, als gebruikt wordt om een kerstboom te verlichten. Dan gebruikt men een snoer met lampjes van een lage spanning, die in serie zijn geschakeld.
W. — Zoo is het! En, Vraagal, nu je alle geheimen kent van de gelijk- of wisselstroomvoeding, mag ik zeker wel wat gaan uitrusten?





Om een golflengte te vinden, die met een bepaalde frequentie overeenkomt (of omgekeerd), bepaalt men het overeenkomstige punt op de schaal van de frequenties en datzelfde punt wijst dan op de schaal aan den anderen kant van de lijn de golflengte aan. De frequenties zijn uitgedrukt in *kilo-hertz* (kHz), d. w. z. in duizendtallen perioden per seconde.

Voorbeelden: 20 000 kHz = 15 m.
1 200 kHz = 250 m.
400 kHz = 750 m.

ZESTIENDE GESPREK

In dit gesprek behandelen onze vrienden eindelijk het principe der frequentie-omvorming, waarop die ontvangtoestellen zijn gebaseerd, welke wij „superheterodynes" of „zwevings-ontvangers" noemen. Het begin van dit gesprek eischt ditmaal van de zijde van Vraagal — en ook van den lezer — bijzondere aandacht. Als het critieke oogenblik eenmaal voorbij is, is niets eenvoudiger dan de verschillende bestudeerde schakelingen, met inbegrip van die met een heptode of een octode.

VRAAGAL BRENGT ZIJN BUURMAN TOT RAZERNIJ.

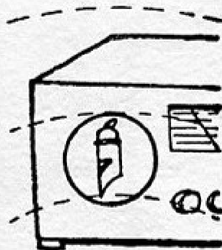


Vr. — Ik wil mij niet als martelaar voordoen, beste Weetal, maar toch schijnt het me toe, dat ik een slachtoffer van de wetenschap ben...

W. — Waarom dan, arm schaap?

Vr. — Toen ik zooeven mijn huis verliet, kwam ik op de trap mijn buurman tegen, die me, razend van woede, beloofd heeft mij een pak slaag te geven den eersten den besten keer, dat ik zijn radio weer zou laten gillen. Hoe kan ik nou zijn muziekdoos laten gillen, zingen of huilen!!...

W. — Ik zal je uit den droom helpen, Vraagal. Met jouw teruggekoppelden detector (waarover je moeder mij al bittere verwijten heeft gedaan) kun je prachtig alle ontvangtoestellen in de buurt laten gillen. Om dat te bereiken is het voldoende, dat je de grens van genereeren overschrijdt. Op dat moment wordt de teruggekoppelde detector een waar zendertje.



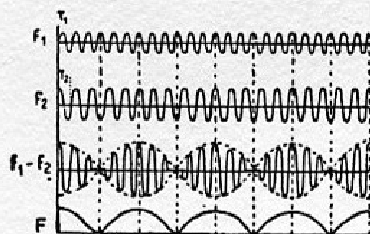
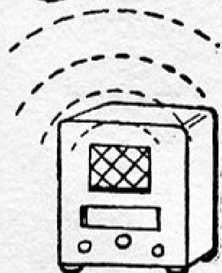


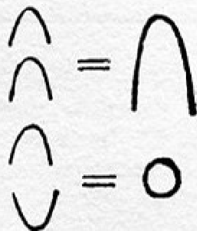
Fig. 89. Door superpositie geven twee trillingen f_1 en f_2 aanleiding tot een samengestelde trilling $f_1 - f_2$, die na gelijkrichting den stroom F doet ontstaan.

Vr. — Wat zeg je me daar, Weetal! Zelfs als ik aanneem, dat de anderen de door mij uitgezonden golven kunnen waarnemen, dan zullen die toch tot geen enkel geluid aanleiding geven? Zij zijn immers afkomstig van een zuiveren hoogfrequenten stroom zonder eenige musicale modulatie?

W. — Het is waar, dat jouw zendertje een ongemoduleerde hooge frequentie uitzendt. Na gelijkrichting in het toestel van je buurman zou die stroom niets laten hooren, als hij niet gecombineerd *(gesuperponeerd)* werd met de hoogfrequente stroomen van de stations, waarnaar je buurman wil luisteren. Welnu, als twee wisselstroomen van verschillende frequenties gesuperponeerd worden, ontstaat tusschen hen een *interferentie*-verschijnsel of een *zweving*, die aanleiding kan geven tot een stroom met hoorbare frequentie.



Vr. — Dat is zonderling. Mij dunkt, dat als twee hoogfrequente stroomen gesuperponeerd werden, zij een stroom met een nog hoogere frequentie zouden voortbrengen.



W. — Laten we, als je het goedvindt, die zaak eens wat nader bekijken. Veronderstel eens, dat wij twee stroomen hebben, waarvan de frequenties (en dus ook het periodental) niet heelemaal dezelfde zijn (f_1 en f_2 in fig. 89) en dat die twee stroomen op het zelfde oogenblik „beginnen". In het begin versterken zij elkaar onderling, d. w. z. hun amplituden worden gewoon opgeteld. Maar na verloop van enkele perioden wordt het verschil in perioden meer merkbaar, de amplituden worden niet meer gewoon samengevoegd, maar „algebraïsch" en weldra beginnen de stroomen, die nu in tegengestelde richtingen loopen, elkaar te verzwakken tot het punt, waarop

zij elkaar gedurende een kort moment opheffen. Op dat punt werken zij elkaar volkomen tegen. Maar het periodenverschil blijft en langzamerhand verzwakken zij elkaar weer hoe langer hoe minder, daarna versterken zij elkaar meer en meer, enzoovoort. En alles begint van voren af aan, want het periodeverschil blijft bestaan. Je ziet dus, dat de resulteerende stroom bestaat uit een serie stooten, waarvan de amplitudo periodiek toe- en afneemt ($f_1 - f_2$ in fig. 89) en met een frequentie, die ver beneden die van onze twee samenstellende stroomen afzonderlijk ligt. Als je dien resulteerenden stroom gelijkricht, krijg je een stroom (fig. 89) met frequentie F, die de variatie van de amplitudo der stooten karakteriseert. De frequentie van den resulteerenden stroom is gelijk aan het verschil van de beide frequenties der samenstellende stroomen.

Vr. — Och hemel, wat is het toch ontzettend ingewikkeld! . . . Ik geef maar liever de voorkeur aan een eenvoudig voorbeeld . . . Is het niet net als met twee roeiers, die zonder de riemen uit het water te halen, met een klein verschil van rhythme roeien? Ook bij hen zal, dunkt mij, een trilling of schommeling ontstaan. Als hun bewegingen samenvallen, zal hun bootje erg schokken. Daarna komt er een verschil in hun bewegingen, dan neemt het schokken af. Tenslotte zijn hun bewegingen tegengesteld. Dan komt de boot niet vooruit. Langzamerhand vallen de bewegingen weer samen en het bootje gaat wederom schokken. En zoo verder. Afwisselend zal de boot schokken en stil liggen.

W. — Ik merk, dat je het interferentie-verschijnsel, dat voortvloeit uit de bijeenvoeging van periodieke bewegingen van ongelijke frequentie, hebt begrepen. Veronderstel nu eens, dat je buurman naar een uitzending luistert, uitgezonden op een frequentie van 1 000 000 perioden per seconde en dat jij met dien fraaien teruggekoppelden detector „uitzendt" — want dat is het eigenlijk — op 1 005 000 per seconde. Die twee stroomen, die gesuperponeerd worden in het ontvangtoestel van je armen buurman, zullen daar aanleiding geven tot een stroom, waarvan de frequentie gelijk is aan het verschil der beide andere, alzoo 1 005 000 — 1 000 000 = 5000 per seconde. Die resulteerende stroom is volkomen hoorbaar en laat van zich blijken in den vorm van een schellen fluittoon. En zoo val jij dus je buurman lastig!

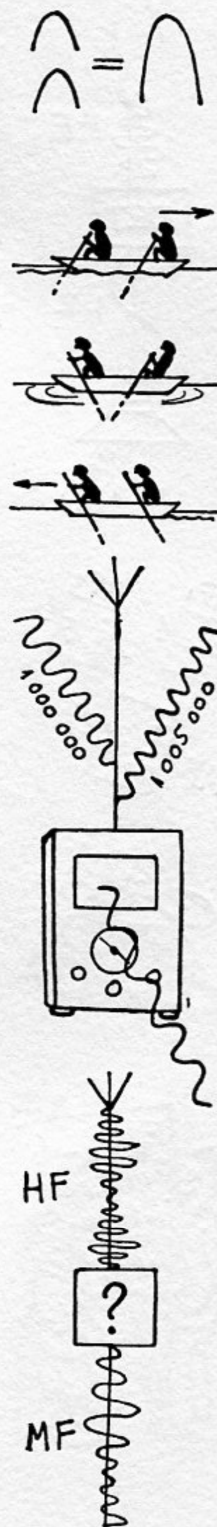
Vr. — Ik verzeker je, dat ik onbewust gezondigd heb en nu ik het weet, kan . . .

W. — . . . je met gemak de theorie van de *superheterodyne* begrijpen, dat is de ontvanger, die gebaseerd is op het interferentie-verschijnsel.

Vr. — Is dat een voortdurend gillende ontvanger?!

W. — Neen dat niet; het is een ontvanger met „onhoorbaar gefluit"!

Vr. — Ondanks dat je me dergelijke uitleggingen geeft, wil je toch nog maar steeds beweren, dat de radio zoo eenvoudig is? . . .



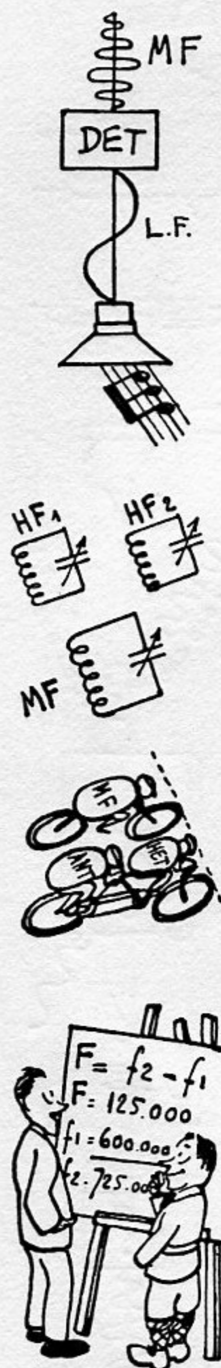
VAN DE HOOGE, DOOR DE MIDDEN=, NAAR DE LAGE FREQUENTIE.

W. — Word niet boos, beste jongen. In de superheterodynes wekt men zwevingen op tusschen den hoogfrequenten stroom van het beluisterde station en den hoogfrequenten stroom van een heterodyne, die in den ontvanger zelf is geplaatst. Alleen stemt men de heterodyne op een dusdanige frequentie af, dat de resulteerende stroom van de interferentie zelf een betrekkelijk hooge frequentie heeft, gewoonlijk hooger dan 100 000 Hz; een stroom van een dergelijke frequentie is natuurlijk onhoorbaar.

Vr. — Ik zie nog niet erg het nut in van dat vervangen van een hooge frequentie door een andere, die niet zoo hoog is, maar niettemin onhoorbaar.

W. — Laat mij je in een paar woorden de werking van de superheterodyne of zwevingsontvanger uitleggen, dan zal alles je wel duidelijk worden. Wij krijgen dus in de superheterodyne den hoogfrequenten stroom, die door

de golven van een zender in de antenne is geïnduceerd. Bovendien hebben wij den stroom, die met een klein verschil van frequentie door den eigen hulpgenerator is voortgebracht. Die twee stroomen worden gesuperponeerd en geven aanleiding tot een derden stroom met een veel minder hooge frequentie, welke men de *midden-frequentie* (M.F.) noemt; die stroom is op dezelfde wijze gemoduleerd als de oorspronkelijke stroom van de antenne, want door de frequentie-omvorming wordt niet in het minst de muziekmodulatie aangetast, die de microfoon in de studio van den zender aan den hoogfrequenten stroom heeft gegeven. Maar onze midden-frequente stroom is veel gemakkelijker te versterken dan de oorspronkelijke stroom, omdat de frequentie lager is en bijgevolg de ongewenschte capaciteiten minder inwerking op hem hebben. Wij versterken dien stroom dus in de versterkings-



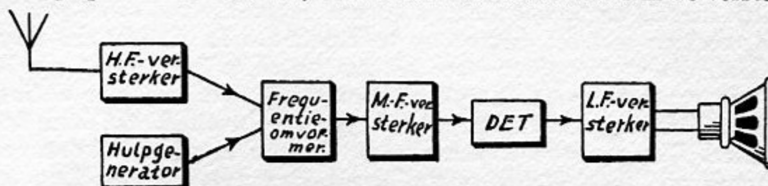


Fig. 90. Schematische samenstelling van een superheterodyne (zwevingsontvanger).

trappen voor de midden-frequentie, vervolgens richten wij hem gelijk zooals iederen hoogfrequenten stroom en tenslotte, nadat wij den aldus verkregen laagfrequenten stroom hebben versterkt, sturen wij hem naar den luidspreker.

Vr. — Ik zie, dat de superheterodyne een verschrikkelijk ingewikkeld werktuig is. Tot nu toe bestonden de door ons bestudeerde ontvangtoestellen uit H.F. trappen, een detector en L.F. trappen. Daarentegen heeft men in de superheterodyne een hulpgenerator, een frequentie-omvormer, M.F. trappen, een detector en L.F. trappen. Een dergelijk ontvangtoestel zal wel erg moeilijk te regelen zijn: in plaats van de kringen op één enkele frequentie af te stemmen, zooals wij tot nu toe gedaan hebben, moet men den ingangskring afstemmen op de frequentie van de gewenschte uitzending, den heterodynekring op een andere frequentie en dan de kringen van den M.F. versterker nog weer op een derde . . .

VRAAGAL GEVOELT ZICH AL DOOR DE SUPERHETERODYNE AANGETROKKEN.

W. — Stel je maar gerust, Vraagal, een der belangrijkste voordeelen van de superheterodyne heb ik nog niet voor je onthuld: de M.F. kringen worden eens voor altijd op een bepaalde frequentie afgestemd. Men regelt dus de heterodyne voor iedere uitzending zoo, dat de stroom, welke op dien van de antenne wordt gesuperponeerd, steeds dezelfde resulteerende frequentie veroorzaakt.

Vr. — Ik geloof, dat een voorbeeld met cijfers niet overbodig zou zijn.

W. — Veronderstel maar eens, dat wij een superheterodyne hebben, waarvan de M.F. trappen afgestemd zijn op 125 000 Hz. Om een uitzending van 600 000 Hz te ontvangen (d. i. een golflengte van 500 m) moet men dus de heterodyne afstemmen op 725 000 Hz. In werkelijkheid is dan de resulteerende frequentie gelijk aan het verschil der beide samenstellende frequenties dus:

$$725\,000 - 600\,000 = 125\,000 \text{ Hz}.$$

Om een andere uitzending, van bv. 850 000 Hz te ontvangen, stemmen wij de heterodyne af op 975 000 Hz, want dan krijgen we weer:

$$975\,000 - 850\,000 = 125\,000 \text{ Hz}.$$

Vr. — Nu geloof ik wel, dat ik het begrijp. De M.F. afstemkringen behoeven derhalve als men van de eene uitzending op de andere overgaat niet telkens afgestemd te worden. Ik denk, dat men daar zelfs geen variabele condensatoren bij noodig heeft, want hun afstemming verandert toch niet. Dus, in een superheterodyne moeten slechts twee kringen afgestemd worden: de ingangskring (op de uitzending) en de heterodyne-kring (op een frequentie boven de te ontvangen frequentie ter waarde van de midden-frequentie). Zoo wordt de regeling dan eigenlijk erg simpel!

W. — Zelfs nog meer dan je denkt. De beide condensatoren worden gewoonlijk door één en denzelfden knop geregeld. Men richt het zoo in, dat de beide frequenties in alle standen van den condensator hetzelfde verschil hebben.

Vr. — Maar hoe bewerkstelligt men in de practijk de superponeering der beide trillingen?

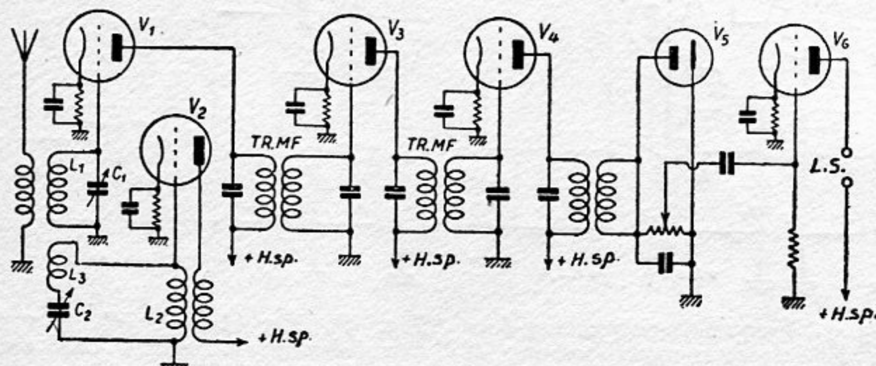
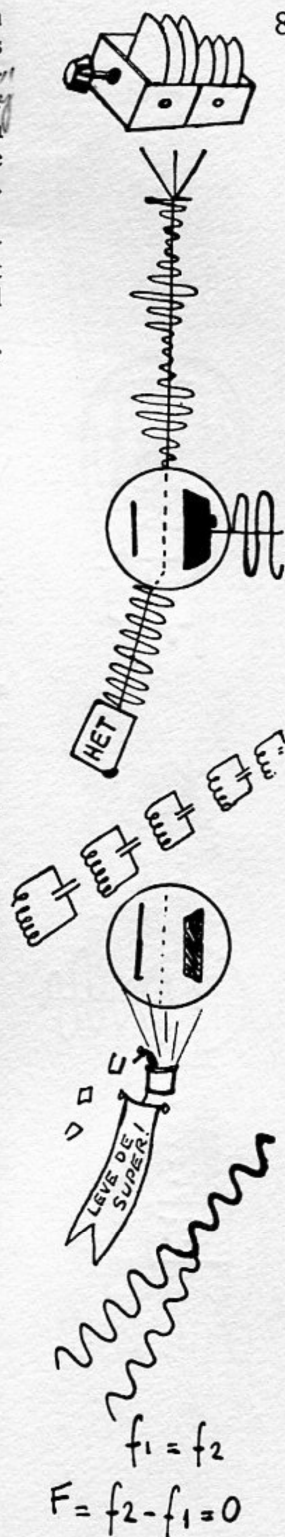


Fig. 91. Schema van de superheterodyne met afzonderlijke oscillatorlamp V_2.



W. — Voor de frequentie-omvorming bestaan tallooze systemen. Hun principe is vrijwel hetzelfde, zoodat het voldoende is als ik je de voornaamste en vooral de meest gebruikelijke beschrijf. Het oudste systeem is dat, wat in zeker opzicht het principe van de superheterodyne zelf als schema heeft (fig. 91). Een afzonderlijke heterodyne (of zooals men ook zegt: *oscillator*) V_2 bevat in den trillingskring L_2C_2 een kleine „koppelspoel" L_3, die inductief gekoppeld is met spoel L_1 van den ingangskring. Dank zij deze koppeling brengt de oscillator zijn trillingen over in den kring L_1C_1. Zoo worden dan aan het rooster van lamp V_1 tegelijkertijd twee wisselspanningen gegeven: die van de antenne en die van den oscillator. De plaatstroom vertegenwoordigt dan ook de trilling, die het resultaat is van de superpositie der beide aan het rooster gegeven trillingen: dat zal dan de midden-frequente stroom zijn. Zooals ik den ontvanger heb geteekend, bevat hij achtereenvolgens twee versterkingstrappen voor M.F. (V_3 en V_4), gekoppeld door transformatoren met afgestemde primaire en secondaire. Vervolgens komt de diode-detector (V_5) en de L.F. versterking (V_6).

Vr. — Ik zie, dat de M.F. koppelingskringen uit zes trillingsketens bestaan. Ik veronderstel, dat zij den ontvanger een enorme selectiviteit zullen geven.

W. — Zeker! En dat is nóg een voordeel van de superheterodyne. In de ontvangtoestellen met directe hoogfrequente versterking kan men niet gemakkelijk het aantal afgestemde kringen vergrooten wegens de moeilijkheid om gelijktijdig zooveel variabele condensatoren te regelen en het gevaar van sterke ongewenschte koppelingen. In een superheterodyne daarentegen, is er niets, dat zich verzet tegen een vergrooting van het aantal trillings-

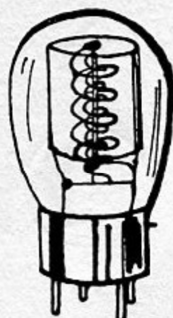
kringen, want hun afstemming, tenminste wat de M.F. aangaat, is steeds dezelfde.

Vr. — Ik voel me nu ten zeerste aangetrokken door de voordeelen van de frequentie-omvorming. Zou ik volgens jouw schema nu een toestel kunnen bouwen?

HET AANTAL ROOSTERS GROEIT.

W. — Geen denken aan! Dit schema zit vol fouten. Sinds lang geeft men niet meer de beide trillingen aan dezelfde electrode van de lamp en ook vermijdt men een zoo vaste koppeling tusschen den trillingskring van de ingangszijde en dien van de heterodyne.

Vr. — Is er dan een nadeel aan die vaste koppeling verbonden?



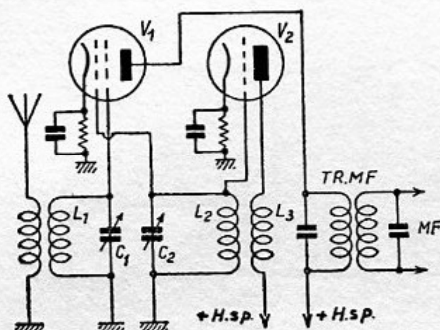


Fig. 92. Frequentie-omvorming door de dubbelrooster-modulatorlamp of menglamp V_1, en een triode-oscillator V_2.

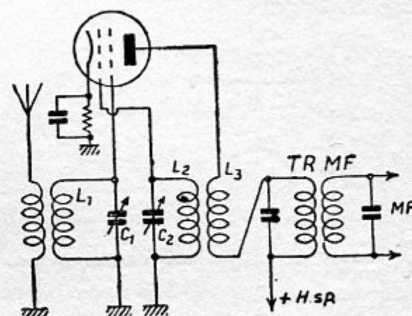
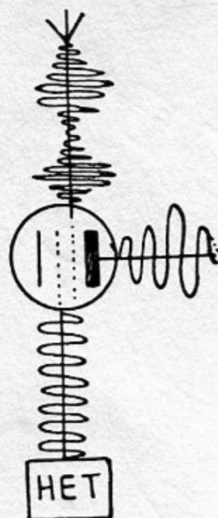


Fig. 93. Het klassieke schema van den frequentie-omvormer door een dubbelrooster-oscillator-menglamp.



W. — Ja, en wel een zeer groot. Omdat hun afstemmingen niet veel verschillen, kan de heterodyne niet alleen gaan oscilleeren op de frequentie van den *eigen* kring L_2C_2, maar ook op die van den ingangskring L_1C_1; en dan krijgen wij nog een frequentie-verandering. Men noemt dat het „meesleepen" der trillingen.

Vr. — Dat is erg vervelend. Toch zie ik geen middel om de trillingen te superponeeren met algeheele onderdrukking van de koppeling tusschen de beide kringen.

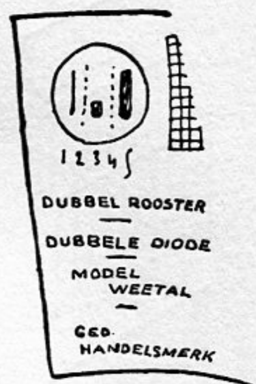
W. — Dat middel bieden de lampen met verscheidene roosters, bijvoorbeeld een lamp met twee roosters: de *dubbelroosterlamp*. De trilling van de heterodyne wordt aan het eerste rooster gegeven en die van de opgevangen uitzending aan het tweede (fig. 92). Op die manier beïnvloeden beide trillingen gelijktijdig den plaatstroom, die er het gevolg van is. Je ziet, dat er bij deze schakeling geen enkele magnetische koppeling bestaat tusschen de kringen L_1C_1 en L_2C_2.

Vr. — Inderdaad. De twee trillingen vallen den plaatstroom onafhankelijk van elkaar aan.

W. — Overigens kan men deze schakeling tot stand brengen met behulp van een enkele dubbelroosterlamp, die gelijktijdig werkt als frequentie-omvormer en als oscillator (fig. 93). Je zult opmerken, dat de plaatstroom dan tevens dient om de terugkoppeling op te wekken, die noodzakelijk is voor het ontstaan en onderhouden van de trillingen in de heterodyne.

Vr. — Die schakeling bevalt met niet erg. Het is niet normaal, dat dezelfde plaatstroom de midden-frequentie vertegenwoordigt en tegelijkertijd voor de terugkoppeling dient voor de hoogfrequente heterodyne.

W. — Daar steekt niets buitengewoons in, want er bestaan componenten voor elk der frequenties, die gesuperponeerd worden. Maar omdat je gehecht bent aan de bescherming van de onafhankelijkheid van de hoog- en midden-frequente plaatstroomen, kan ik je de lamp met *vijf* electroden van fig. 94 voorstellen. Het eerste rooster en de eerste anode (die erg klein is en den verderen doortocht van de meerderheid der electronen niet verhindert) worden met de heterodyne verbonden. De antennetrillingen worden aan het tweede rooster aangesloten en in den plaatkring vinden wij uiteindelijk den midden-frequenten stroom.



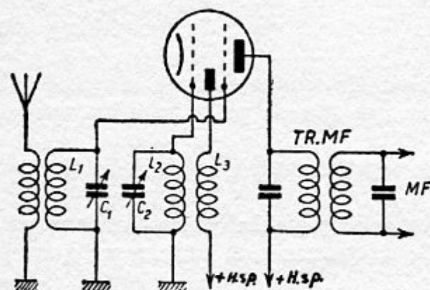


Fig. 94. Frequentie-omvorming door een dubbelroosterlamp met twee anoden, die alleen in het vindingrijke brein van Weetal bestaat....

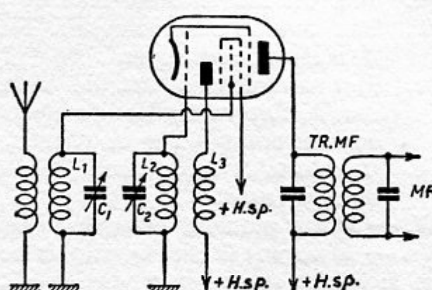
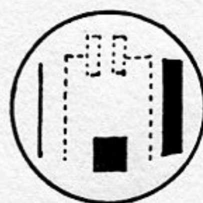


Fig. 95. Schakeling van den octode-frequentie-omvormer. (In de heptode ontbreekt het laatste rooster.)



Vr. — Dat bevalt me beter!

W. — Toch bestaat die schakeling, zooals ik ze je beschreven heb, in werkelijkheid niet! Want wegens de capaciteiten tusschen de electroden van de lamp, zal er een koppeling ontstaan tusschen de twee kringen L_1C_1 en L_2C_2, die soms voldoende is (vooral op de korte golf) om meesleepen te veroorzaken.

Vr. — O, o, die ongewenschte capaciteiten! Wat is er toch tegen te doen?

IN HET KONINKRIJK DER ROOSTERS.

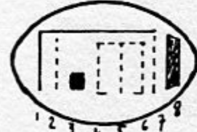


W. — Hetzelfde als in het geval van de H.F. versterking, die wij vroeger al onderzocht hebben: er moet een afscherming tusschen de electroden gemaakt worden, of anders gezegd: er moet een *schermrooster* tusschen geplaatst worden.

Vr. — Er is dus een schermrooster noodig tusschen de kleine plaat en het tweede rooster?



W. — Daarvoor alleen zou een dergelijk schermrooster voldoende zijn om de capacitieve koppeling te onderdrukken; maar het zou de meeste electronen aantrekken, zoodat slechts zeer weinige de laatste anode zouden bereiken. De juiste oplossing ligt in het gebruik van twee schermroosters, waarvan het tweede dichter bij de laatste anode wordt geplaatst. Dank zij zijn positieve potentiaal heeft dit laatste rooster ten doel de electronen te helpen bij hun langen tocht naar de anode. Voorts hebben de beide schermroosters dezelfde potentiaal en daarom zijn ze binnenin de lamp met elkaar verbonden. Om de secondaire electronen-emissie te vermijden — dat bezwaar van alle schermroosterlampen — wordt nog een *remrooster* ingevoegd vlakbij de laatste anode. Dit wordt met de kathode verbonden. Op die manier verkrijgen we een lamp met acht electroden: de *octode*. Heeft de lamp niet zoo'n remrooster, dan heeft zij zeven electroden en heet *heptode*.



Vr. — Je hebt me heelemaal geroosterd met al die roosters... Om mij zelf



weer een beetje op de been te helpen, ga ik probeeren de rollen van de verschillende electroden in de octode samen te vatten:

1e. De kathode, die vanzelfsprekend dient voor de electronen-emissie.
2e. Het eerste rooster, dat is dat van den hulpgenerator. Dat is dus het oscillatorrooster.
3e. De kleine anode van de heterodyne of de oscillator-anode.
4e. Het eerste schermrooster, dat bestemd is om de capacitieve koppeling tusschen het oscillator-rooster en het rooster, waarop de antenne-trillingen komen, te vermijden.
5e. Aan dit rooster sluit men de antenne-keten aan.
6e. Het tweede schermrooster. Het is bestemd voor de versnelling van den electronenstroom.
7e. Het remrooster, dat de secondaire electronen-emissie onschadelijk maakt. Dit verhindert de electronen om van de plaat naar het tweede schermrooster terug te vliegen.
8e. Tenslotte is er de anode, die den resulteerenden midden-frequenten stroom levert.

W. — Dat is prachtig Vraagal! Ik zie, dat je je gemakkelijk kunt oriënteeren.
Vr. — Maar wat ik niet begrijp, is hoe de electronen zich kunnen oriënteeren en zich niet in den weg vergissen . . .



ZEVENTIENDE GESPREK

Vraagal heeft lang nagedacht over de superheterodyne en hij heeft gevonden, dat deze een onoverkomelijke fout heeft. Gelukkig heeft Weetal de gewoonte alle hinderpalen om te blazen... En zoo gelukt het onzen vrienden het schema van een ontvangtoestel zoo te maken, dat het volkomen uitvoerbaar is. Om dit onderhoud af te sluiten, geeft Weetal aan zijn leerling een uiteenzetting van de samenstelling en werking der luidsprekers. Maar dit is nog niet het laatste van deze gesprekken.

EEN ROOVERS-GESCHIEDENIS.

Vr. — Ik heb er wel eenige moeite mee gehad om in mijn brein alles te „verteren", wat je me ten aanzien van de superheterodyne hebt geleerd. Gelukkig heeft mijn kennis van de oude geschiedenis mij geholpen om alles te begrijpen.



W. — Wel alle octoden! Als ik nou toch het verband zie tusschen...

Vr. — Wind je niet zoo op! De superheterodyne doet me heel eenvoudig denken aan dien sympathieken gangster der Oudheid. Procustes of Procrustes heette hij, geloof ik, daarover zijn de encyclopaedieën het niet heelemaal eens. Hij voerde de gastvrijheid zoover door, dat hij zijn gasten in een ijzeren ledikant legde en hun vervolgens de voeten afsneed, als deze buiten het bed staken. Waren zij te kort, dan rekte hij hen een beetje uit...

W. — Ja, die geschiedenis van den roover van Attica ken ik ook, maar...

Vr. — Is dat nu niet hetzelfde principe als aan de superheterodyne ten grondslag ligt? Hoe ook de frequentie van de ontvangen uitzending is, men verandert haar zoo, dat men altijd dezelfde midden-frequentie verkrijgt: die, waarop de kringen van de M.F.-versterking zijn afgestemd.

W. — Je hebt gelijk, Vraagal: voor de frequenties der verschillende zenders is de superheterodyne een waar Procrustes-bed.

Vr. — Als ik het principe goed heb begrepen, blijft mij nog slechts één ding over, dat me verontrust.

W. — Wat dan, waarde vriend?

Vr. — Veronderstel eens, dat de midden-frequentie 100 000 Hz is en dat wij naar een uitzending van 1 000 000 Hz willen luisteren. Dan moet men den oscillator afstemmen op 1 100 000 Hz of op 900 000 Hz. Want dan is het verschil tusschen de samenstellende frequenties 100 000 Hz. Maar veronderstel eens, bij een afstemming op 900 000 Hz, dat een andere uitzending van 800 000 Hz eveneens bij de lamp komt, die de frequentie omvormt, dan zal ook die frequentie gemengd met de 900 000 Hz van den hulpgenerator aanleiding geven tot een resulteerenden stroom van 100 000 Hz. Dus ook die zal in de midden-frequentie versterkt worden en eveneens hoorbaar worden!



Geen toegang voor de spiegelfrequenties

W. — Je redeneering is juist. Inderdaad zijn er voor iedere afstemming van den hulpgenerator twee uitzendingen, die dezelfde midden-frequentie kunnen veroorzaken: een dezer uitzendingen heeft een hoogere frequentie, de andere een lagere dan de hulpgenerator. Men noemt dat de *spiegelfrequenties*.

Vr. — Maar het is toch erg hinderlijk om twee uitzendingen tegelijk te hooren!

W. — Dat ben ik volkomen met je eens. Men richt het dan ook zoo in, dat bij de lamp, die de frequentie omvormt, alleen die frequentie kan komen, welke men wenscht. Te dien einde plaatst men aan de ingangszijde van den ontvanger een tamelijk selectieven afstemkring, *voorselectiekring* genaamd. Een andere oplossing bestaat in het laten verdwijnen van de hinderlijke frequentie door een voorloopige versterking (*vóór-versterking*) van den antennestroom.



Vr. — Ik geef de voorkeur aan die laatste methode. Het lijkt me goed om, voordat hij de behandeling der frequentie-omvorming ondergaat, den stroom



eerst wat te versterken, als hij verzwakt door de lange reis in de antenne arriveert... Verder denk ik, dat, daar we nu de superheterodyne kennen, het tijd wordt eens ernstig aan het toestel van je tante te gaan denken. Zij wacht daar reeds lang op. Kun je nu het schema daarvan teekenen?

HET TOESTEL VOOR TANTE.

W. — Hier heb je het kant en klaar: fig. 96. Je ziet dat het in groote trekken bestaat uit een trap H.F.-vòòrversterking, een octode-frequentie-omvormer of mengtrap, een pentode-M.F.-versterker, een gecombineerde diode-triode, die voor de gelijkrichting en de L.F.-vòòrversterking zorgt, en tenslotte een pentode, die belast is met de energie- of eindversterking. Afzonderlijk ken je reeds alle onderdeelen van dit schema met inbegrip van de voeding door den wisselstroom van het net.

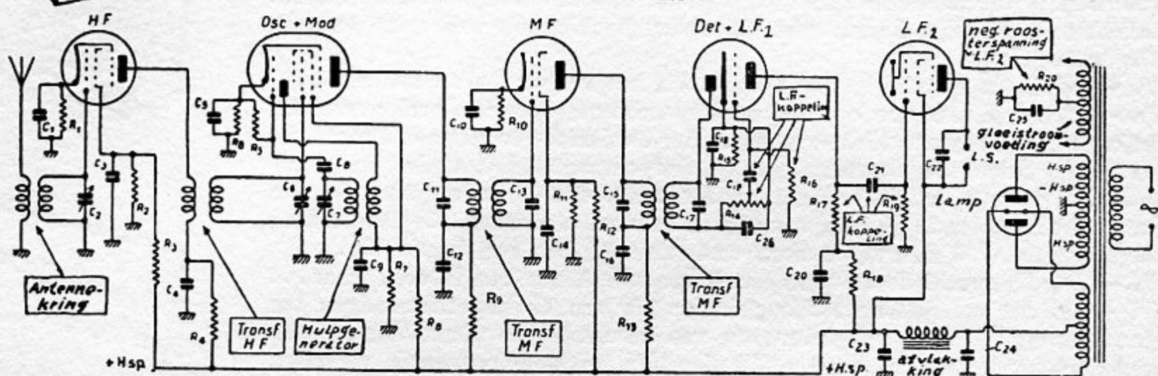


Fig. 96. Het schema van een superheterodyne met H.F.-vòòrversterking en frequentie-omvorming door een octode:

R_1, R_5, R_{10}, R_{15}, R_{20}: polarisatie-weerstanden (voor de negatieve rooster-spanning).
R_2 en R_3, R_7 en R_8, R_{11} en R_{12}: weerstanden, die de spanningen op de schermroosters bepalen.
R_4, R_9, R_{13}, R_{18}: weerstanden voor ontkoppeling der plaatkringen.
R_5, R_{16}, R_{19}: roosterlekweerstanden.
R_{14}: detectieweerstand. Hij bestaat uit een potentiometer en dient tevens voor de regeling van de geluidssterkte.
R_{17}: koppelweerstand voor den anodekring.
C_2, C_6, C_7: variabele afstemcondensatoren voor den ingangskring, den H.F. transformator en den hulpgenerator.
C_1, C_3, C_4, C_5, C_9, C_{10}, C_{12}, C_{14}, C_{16}, C_{18}, C_{20}, C_{25}: ontkoppelcondensatoren.
C_{11}, C_{13}, C_{15}, C_{17}: afstemcondensatoren van de M.F. transformatoren.
C_8, C_{19}, C_{21}: koppelcondensatoren.
C_{23}, C_{24}: filtercondensatoren.
C_{22}: condensator, die de hooge tonen verzwakt.
C_{26}: condensator voor den detector.



Vr. — Inderdaad is er voor mij niets geheimzinnigs meer in dit toestel. Het eenige, wat mij de „lezing" van dit schema nog onbehaaglijk maakt, is het gebruik van het symbool voor „massa".

W. — Zooals ik je al eens gezegd heb, is het voldoende om er maar aan te denken, dat alles wat met „massa" verbonden is, op hetzelfde punt uitkomt: de negatieve pool van de hoogspanning; in ons geval is dit het midden van de H.sp.-wikkeling van den voedingstransformator.

Vr. — Toch is er nu van het geheel nog één onderdeel, waarmee ik niet vertrouwd ben: de *luidspreker*.

W. — We hebben er inderdaad tot nu toe niet nader over gesproken.

Vr. — Ik veronderstel, dat hij wel op dezelfde manier samengesteld zal zijn als de telefoon, maar alleen met sterkere magneten en met een grooter membraan.

DE LUIDSPREKER IN DEN LOOP DER TIJDEN.



W. — Zoo waren inderdaad de eerste luidsprekers samengesteld. Bovendien voorzag men ze, voor een betere verspreiding van het geluid, van een langen hoorn in den vorm van een zwanenhals. Die vorm was ontleend aan de oude gramofoons. Dat gaf een blikkerig geluid, maar toch beweerden de eerste luisteraars, dat zij verrukt waren . . . In die luidsprekers vervulde het ijzeren membraantje twee functies: Ten eerste zette het den veranderlijken laagfrequenten stroom in mechanische trillingen om en ten tweede wekte het, bij het doorgeven van die trillingen aan de omringende luchtlagen, geluidgolven op.

Vr. — Dat is teveel voor zoo'n arm klein ijzeren plaatje!

W. — Tot die conclusie zijn de technici ook gekomen. Men trachtte toen een scheiding der beide functies te bereiken. Aan den eenen kant werd het membraan, dat alles moest doen, vervangen door een elastische tong, die trilde onder invloed van het veranderlijke veld van den electromagneet; aan den anderen kant ontving een groot kegelvormig membraan van papier of een soortgelijk licht materiaal door middel van een dunne naald, waardoor zij verbonden waren, de trillingen van de tong en bracht die zoo over op een tamelijk groote luchtmassa.

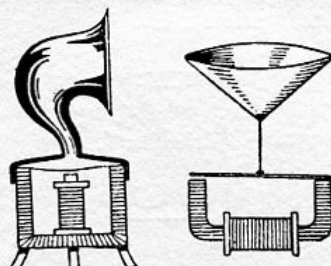


Fig. 97 (*links*). Doorsnede van een ouderwetschen electromagnetischen luidspreker met hoorn.
Fig. 98 (*rechts*). Electromagnetische luidspreker met een trillende tong en verspreiding van het geluid door een conisch membraan.

Vr. — Dat schijnt me erg goed, maar waarom spreek je in den verleden tijd over dien luidspreker?

W. — Omdat men hem nu niet meer gebruikt wegens een groot gebrek, waarmee hij behept was, nl. de te zwakke trillingsamplitudo van de tong. Zoodra deze te sterk trilde, raakte zij den magneet.

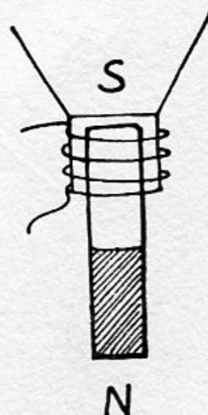


Vr. — Kon men de tong er dan niet verder vandaan plaatsen?

W. — Door den afstand te vergrooten verkleinde men den invloed van het magnetische veld en daardoor verzwakte de amplitudo der trillingen. Jouw idee zou ons van Charybda op Scylla doen stooten.

Vr. — Heeft men tenslotte een ander systeem zonder die fout uitgevonden?

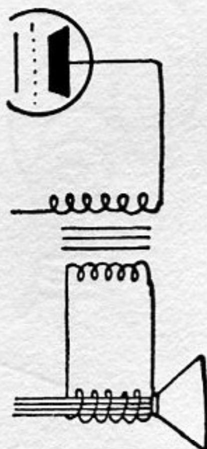
EEN MODERNE LUIDSPREKER.



W. — Dat heeft men! De electrodynamische luidspreker heeft de electromagnetische luidsprekers, die gebaseerd waren op het oude principe van de telefoon, met succes vervangen en verdrongen. In de electrodynamische bevindt zich een electromagneet, bestaande uit een spoel zonder kern B. Die spoel is in een constant en zeer sterk magnetisch veld geplaatst, dat onderhouden wordt door een magneet A (fig. 99). Door spoel B loopt de laagfrequente stroom. Zij wordt dus op haar beurt ook een kleine magneet, waarvan de polen afwisselend van richting omkeeren. Dus nu eens wordt die spoel door den magneet A aangetrokken, die haar tracht in te slikken, dan weer wordt zij er door afgestooten. Die spoel is aan het midden van een conisch membraan M bevestigd, waaraan zij haar trillingen doorgeeft. Je ziet, hier is niets, dat de amplitudo der trillingen kan beperken, behalve de elasticiteit van het membraan.

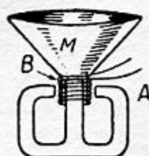
Vr. — Dat is werkelijk vernuftig. Maar ik zie in je teekening, dat de beweegbare spoel B zeer weinig plaats heeft om te bewegen.

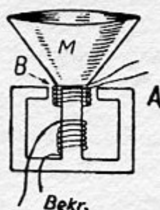
W. — Inderdaad! Om het constante magnetische veld zoo sterk mogelijk



te maken, laat men zeer weinig plaats tusschen de polen van den magneet. Zoo heeft, ook om haar zeer licht te houden, de beweegbare spoel slechts weinige windingen, die in één laag of hoogstens twee zijn gelegd. Bovendien is de draad tamelijk dun. Toch is er geen risico, dat hij verhit wordt door den plaatstroom van de eindlamp; deze laatste loopt er nl. niet rechtstreeks doorheen: alleen de variabele component laat zijn invloed gelden door de aanwezigheid van een transformator, die tevens de spanning verlaagt en welks aanwezigheid bovendien nog om andere redenen noodzakelijk is.

Vr. — Wat den permanenten magneet betreft, die moet, dunkt mij, wel zeer sterk zijn.





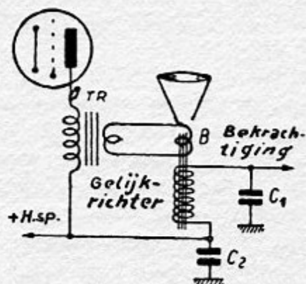
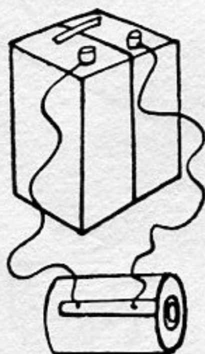


Fig. 99 (*links*). Doorsnede van een electrodynamischen luidspreker. A = magneet. B = beweegbare „spreekspoel". M = membraan.

Fig. 100 (*midden*). Luidspreker met bekrachtiging (magnetiseerende stroom).

Fig. 101 (*rechts*). De bekrachtigingsspoel wordt hier als filterimpedantie gebruikt.

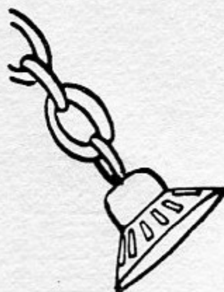


W. — Daarin vergis je je niet. Overigens maakt men, gezien den hoogen prijs van goed magnetisch staal, vaak electromagneten door een magnetiseeringsspoel (of, zooals men zegt: een *bekrachtiging*) binnen in den door den magneet gevormden „pot" te plaatsen.

Vr. — En waar komt de magnetiseeringsstroom vandaan?

W. — Voor groote luidsprekers maakt men te dien einde gebruik van een afzonderlijken gelijkrichter met filter. Maar voor de gewone luidsprekers van radiotoestellen neemt men als bekrachtigingsstroom het totaal van alle plaatstroomen en laat dan de bekrachtigingsspoel de rol vervullen van de zelfinductie van den afvlakfilter (fig. 101).

Vr. — Dat is reuze practisch! Op die manier krijgt men den bekrachtigingsstroom gratis!



W. — Niet heelemaal. Want in de bekrachtigingsspoel ontstaat een vrij groote spanningsval, waarmee rekening gehouden moet worden door voor een grootere gelijkgerichte spanning te zorgen.

Vr. — Het komt me voor, dat er voor mij niets meer te leeren valt op radiogebied, nu ik ook met den luidspreker bekend ben. Dat was de laatste schakel van de lange keten der radio-electrische geluidsoverbrenging.

W. — Inderdaad zouden wij hier onze gesprekken kunnen beëindigen, want in groote trekken ken je alle fundamenteele beginselen van de radio. Maar een modern ontvangtoestel is uitgerust met een zeker aantal onderdeelen, die tot doel hebben de afstemming te vergemakkelijken of de muziekweergave te verbeteren. De voornaamste van die onderdeelen gaan wij nu nog even bestudeeren om op die wijze je technische opvoeding te voltooien.

ACHTTIENDE GESPREK

Het probleem van de regeling en de stabiliteit der geluidsterkte is een der interessantste punten van de radio. Het is gemakkelijk om de geluidsterkte regelbaar te maken. Maar haar voortdurend op een zelfde peil te houden is minder gemakkelijk: de „fading" tracht geregeld de sterkte van het ten gehoore gebrachte te wijzigen... Weetal zal de werking van dat netelige probleem uitleggen en ook zal hij laten zien, hoe in de moderne ontvangers de automatische fading-compensator de uitwerking er van neutraliseert.

OVERPEINZINGEN OVER DE TERUGKAATSING DER GOLVEN.



Vr. — Het lezen van de advertenties der radiofabrieken heeft een deprimeerenden invloed op mij. Ik ontdek er steeds weer van die uitheemsche woorden in, zooals bijvoorbeeld fadingcompensatie. Ik veronderstel, dat dat woord aan het Engelsch is ontleend, evenals training of meeting.

W. — Zeker. En op zijn Hollandsch beteekent het „automatische regeling van de geluidsterkte". Door die regeling is het mogelijk de kracht van het geluid doorloopend op sterkte te houden ondanks de inwerking van de fading.

Vr. — Ik merk, dat je weer tot het Engelsche woord terugkeert. Wat is dan die beruchte fading, waartegen men de antifading stelt?



W. — *Fading* wil zeggen „sluiering". Het is een verschijnsel, dat men al sinds lang heeft waargenomen. Men merkte op, dat sommige verre uitzendingen bij de ontvangst weergegeven werden met een sterkte, die door een aanvankelijk onbekende oorzaak veranderde. Die sterkte-variaties, die langzaam of snel kunnen zijn, en die voor sommige oogenblikken de uitzending soms absoluut onhoorbaar kunnen maken, hebben de geleerden erg geprikkeld.

Vr. — Ik veronderstel, dat zij de luisteraars erg gehinderd hebben, want de nuances, die de fading aan de muziek geeft, zullen waarschijnlijk niet overeenkomen met de bedoelingen van den componist, wiens werk zij op die manier misvormen. Maar ik denk ook, dat men de oorzaken van de fading wel gevonden zal hebben en tegelijk het middel om haar te bestrijden.



W. — Zoo zou het wel zijn in het geval, dat de oorzaken van de fading in den zender of in het ontvangtoestel schuilden. Maar het verschijnsel ontstaat juist tusschen die twee in! Met een constante sterkte uitgezonden golven kunnen in het ontvangtoestel aankomen met een aanzienlijke ongestadigheid.



Fig. 102. De golf van den zender E komt langs twee verschillende wegen bij de ontvangantenne R aan: òf de oppervlakte van den aardbol volgend, òf na terugkaatsing in de hoogste lagen van onzen dampkring (in de Kenelly-Heaviside-laag).

Vr. — Dus „fading" is een afwijking in de voortplanting van de Hertz-golven?

W. — Zoo is het. Volgens de tegenwoordige theorieën planten de golven zich voort langs twee verschillende wegen. Er is aan den eenen kant de „aardgolf", die de oppervlakte van den aardbol volgt; zij verzwakt tamelijk snel, doordat zij haar energie verspeelt aan alle geleiders, die zij op haar weg ontmoet en waarin zij hoogfrequente stroomen doet ontstaan. Maar aan den anderen kant zijn er golven, die, als zij van de zendantenne vertrekken, onder een grooteren of kleineren hoek omhoog gaan.















Vr. — Die zijn voor ons verloren: zij vervliegen ongetwijfeld in de ruimte tusschen de planeten?

W. — Mis! Op een zekere hoogte (vele tientallen km) botsen zij tegen een gaslaag, die voor de golven als het ware een spiegel vormt, waartegen zij terugkaatsen, zoodat zij naar de aarde teruggeworpen worden. Die laag heet de *ionosfeer* of — naar den naam van hen, die het eerst de hypothese van haar bestaan uitten — de „Kenelly-Heaviside-laag" (fig. 102).

Vr. — Dus volgens jou zou een ontvangantenne tegelijkertijd door twee golven beïnvloed worden, die allebei van denzelfden zender komen: een aardgolf en een door de ionosfeer teruggekaatste golf?

W. — Juist. Merk nog op, dat de door die twee golven afgelegde banen een zeer verschillende lengte hebben: terwijl de eerste, die den aardbol volgde, den kortsten weg heeft genomen, is de andere eerst een straatje om gegaan naar de bovenste luchtlagen van den dampkring en terug, voordat zij op haar bestemming aankwam. Op het moment, dat de golven elkaar in de ontvangantenne ontmoeten, kunnen zij in de maat (of „in phase") zijn en in dat geval versterken zij elkaar onderling. Maar zij kunnen daar ook met tegengestelde phase aankomen; dan verzwakken hun onderling tegengestelde stooten elkaar of heffen elkaar zelfs op.

Vr. — Dat verklaart echter de fading nog niet, die voortdurend de sterkte van de ontvangst doet veranderen. Komend van denzelfden zender naar denzelfden ontvanger zullen de beide golven aanleiding geven tot een sterkere of zwakkere ontvangst, waarvan de sterkte zelf echter door geen enkele oorzaak in den loop van den tijd zou veranderen.

W. — Zoo zou het zijn als de ionosfeer een onbeweeglijke en stijve spiegel was. In werkelijkheid kan zij vergeleken worden met een zee, vol golven, stormen en getijden. De oppervlakte van de ionosfeer is voortdurend in beweging en de hoogte er van ondergaat belangrijke variaties in den loop van den dag en van het jaargetijde. De lengte van de baan der teruggekaatste golf is dan dus ook veranderlijk. Nu eens zal zij de aardgolf versterken, dan daarentegen, verzwakt zij haar weer. En dat is het nu, wat de voortdurende onregelmatigheden in de sterkte van het geluid veroorzaakt.

Vr. — Maar je hebt me verteld, dat de aardgolf betrekkelijk snel verzwakt, naarmate zij zich meer van den zender verwijdert. Ik veronderstel dus, dat vanaf een zekeren afstand van den zender men alleen te doen heeft met de teruggekaatste golf. Daar zal dus geen fading meer zijn?

W. — Helaas! Er kunnen verscheidene teruggekaatste golven zijn, die verschillende trajecten hebben afgelegd en die verscheidene terugkaatsingen van de ionosfeer en van de aarde hebben ondergaan, want ook de aarde werkt op de golven als een spiegel.

Vr. — Is er dan heelemaal geen middel om de fading te onderdrukken?

DE STRIJD TEGEN DE FADING.

W. — Zoolang men aan verscheidene golven moet toestaan bij den ontvanger te komen, blijft de fading werken. Men kan haar alleen verzwakken met behulp van speciale zendantennes, die de golven onder een bepaalden hoek boven den horizon uitstralen of ook, bij den ontvanger, door een apparaat, dat van alle golven, die het ontvangt, één bepaalde uitzoekt, die onder een vastgestelden hoek aankomt.

Vr. — Als men dat „antifading" noemt, moet het wel verduiveld ingewikkeld zijn!

W. — Neen, mijn beste Vraagal. Terwijl men tracht de scherpte van de fading geheel door de bijzondere samenstelling van de zendantenne te reduceeren, kan men niet beletten, dat de ontvangantenne golven ontvangt, die erg onderhevig zijn aan sterkteveranderingen. Men probeert dan de

sterkte van het geluid op peil te houden door den graad van de versterking in den ontvanger voortdurend te veranderen.



Vr. — Als ik het goed begrijp, compenseert men dus de golfvariaties door omgekeerde variaties in de versterking. Als de golven zwakker aankomen vergroot men de versterking en men verzwakt haar, wanneer de golven sterker worden.

W. — Juist, zoo gaat men te werk. Als ten gevolge van de fading een klank (d. w. z. een golf van den zender) ons te zwak bereikt, verhoogen wij de gevoeligheid van het ontvangtoestel door de versterking van de H.F. versterkingstrappen te vergrooten. (En als het een superheterodyne is, eveneens de M.F. trappen.)

Vr. — Maar ik zie niet in, op welke manier men de versterking van een lamp kan veranderen.

HET GEHEIMZINNIGE „PUNT X".

W. — Je weet, dat hoe grooter de steilheid van een lamp is, hoe meer zij versterkt. Nu, voor dezelfde lamp varieert de steilheid volgens het punt van de karakteristiek, waarin de lamp werkt. Dat „*werkpunt*" wordt bepaald door de polarisatie of negatieve voorspanning van het rooster en . . .

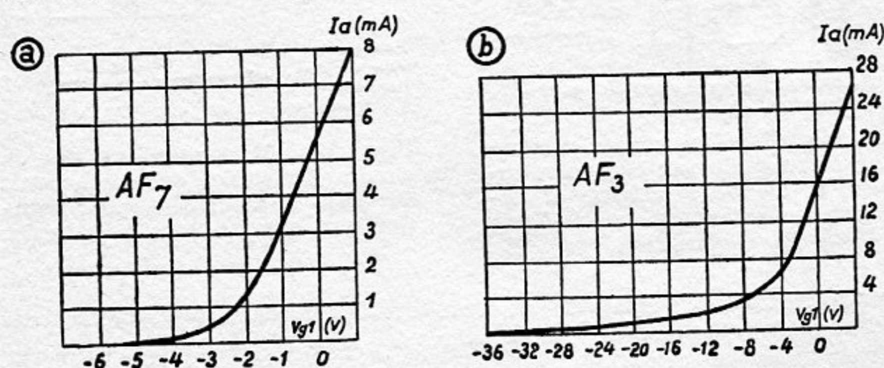


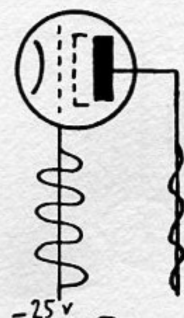
Fig. 103. a: Kromme voor een lamp met „vaste steilheid" en b: voor een met „variabele steilheid".



Vr. — Hier onderbreek ik je even, Weetal. Ik weet heel goed, dat de karakteristiek van een lamp niet in alle punten dezelfde steilheid heeft. De steilheid is maximaal in het rechte deel van de kromme; als wij het rooster meer negatieve voorspanning geven, komen wij in de onderste bocht, waar de steilheid snel afneemt. Maar dat is — en dat heb je me dikwijls genoeg herhaald — een verboden gebied: de versterking is alleen in het rechte deel geoorloofd.

W. — Dat is volkomen in orde, zoolang het gaat om gewone lampen en om betrekkelijk groote te versterken spannings-amplitudo, zooals die, welke wij aantreffen in de L.F. trappen. Maar in de hoog- en midden-frequentie zijn de amplitudo nog erg zwak. En daar is het voldoende, als de lampkarakteristiek alleen rondom het werkpunt ongeveer rechtlijnig is. Men vervaardigt dus speciale lampen, waarvan de steilheid doorloopend, geleidelijk sterk verandert, zoodat de karakteristiek geen scherpe bochten laat zien. Die lampen heeten „*lampen met variabele steilheid*". Dat beteekent nu wel niet, dat de steilheid van de andere constant is, maar dat men in de speciale lampen werkpunten voor verschillende steilheden mag kiezen.

Vr. — Als ik de lampen met veranderlijke steilheid had gekend, zou ik geen enkele tegenwerping hebben gemaakt. Zooals jij het hebt voorgesteld, wijst





de karakteristiek van een lamp met variabele steilheid aan, dat, als men het rooster voldoende negatieve voorspanning geeft, de lamp niet alleen niet zal versterken, maar zelfs de aan haar rooster gegeven trillingen als het ware belangrijk zal verzwakken.
W. — Dat moet zij doen. Op die manier slagen wij er in de sterkte van de te hooge tonen tot op een normale geluidsterkte terug te brengen... In de practijk bedient men zich, om de versterking van de lampen met veranderlijke steilheid te regelen, van een toestel, waardoor het met behulp van een potentiometer P (fig. 104) mogelijk is, de negatieve voorspanning te veranderen.
Vr. — Maar dat is verschrikkelijk. De luisteraar moet dus, zonder een oogenblik den knop van den potentiometer los te laten, hem voortdurend

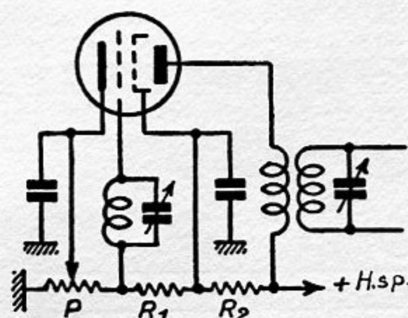


Fig. 104. Regeling van de versterking met behulp van een potentiometer P, die de polarisatie of negatieve voorspanning van de lamp doet variëeren.

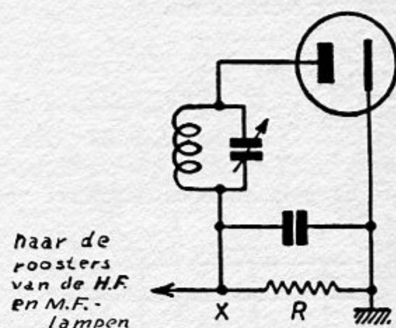
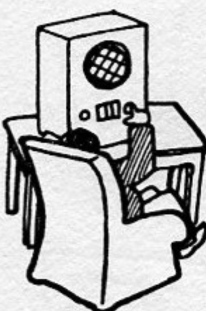
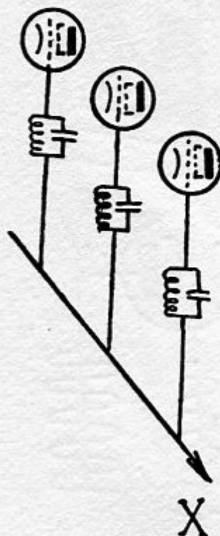


Fig. 105. Al naar gelang van de gemiddelde sterkte der tonen wordt het punt X meer of minder negatief ten opzichte van de kathode.





ronddraaien om de veranderingen door de fading ontstaan, te compenseeren. Onder zulke voorwaarden zou ik heelemaal geen pleizier hebben van het luisteren naar muziek...
W. — Gelukkig bestaat er een mogelijkheid die regeling automatisch te doen geschieden. Daarvoor is het voldoende in den ontvanger een zoodanig punt te vinden, dat meer negatief wordt, naarmate de binnenkomende draaggolf sterker wordt, en omgekeerd. Weet je zoo'n punt?
Vr. — Ik zie er geen.
W. — Bekijk dit schema van de diode-detectie dan eens, dat je al lang kent (fig. 105). Het punt in kwestie is het uiteinde X van den weerstand R. De door de diode gelijkgerichte H.F.-stroom verwekt daar ten opzichte van „massa" een negatieve spanning. Die spanning is grooter naarmate de *gemiddelde* sterkte van de aan de diode doorgegeven trillingen grooter is.
Vr. — Ik heb het begrepen! Je sluit die spanning van punt X aan de roosters van de H.F.- of M.F.-lampen met veranderlijke steilheid aan. Worden de golven nu sterk, dan wordt punt X meer negatief en de spanning, aangesloten aan de roosters van de H.F.- of M.F.-lampen vermindert de versterking daarvan. Als daarentegen, onder invloed van de fading, de golven zwakker worden, veroorzaken zij in punt X een minder negatieve spanning; die spanning veroorlooft de H.F.- en M.F.-lampen meer te versterken. Per slot van rekening nivelleert deze schakeling alle onregelmatigheden in de sterkte der golven en houdt zij voortdurend de geluidsterkte op peil, en dat is het eenige, waarmee de luisteraar te maken heeft.
W. — Ik zie dat je volkomen de werking van de automatische fadingcompensatie hebt gesnapt. Je merkt, dat het in zeker opzicht gaat om een

„regeling naar beneden". Alleen de zwakste golven maken gebruik van de maximale gevoeligheid van den ontvanger; naarmate de sterkte der seinen toeneemt, wordt door de antifading de versterking in overeenkomstige mate verminderd.



DE RADIO TEN BEHOEVE VAN DE DOOVEN.

Vr. — Nog één tegenwerping als je het goedvindt, Weetal. Veronderstel nu eens, dat er in de muziek een slag van de groote trom voorkomt. Zal de compensatie op dat moment niet een oogenblikkelijke vermindering van de versterking veroorzaken? Of anders gezegd, naar mijn meening zal de compensatie, zooals jij die hebt beschreven, in zeker opzicht de nuances van de muziek vervlakken.



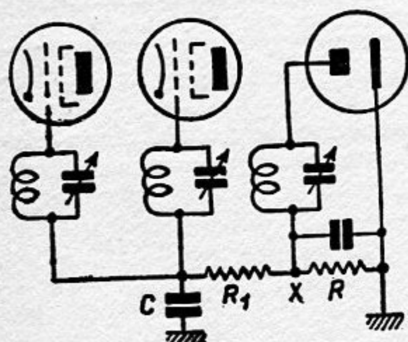


Fig. 106. Twee H.F.-lampen, waarop van X uit via R_1 fading-compensatie werkt.

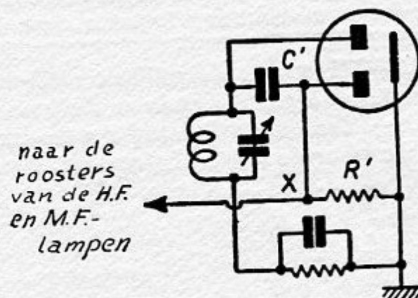
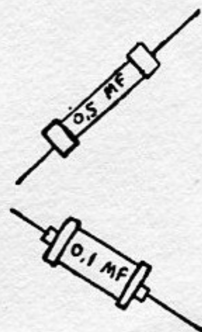


Fig. 107. De dubbele diode maakt het mogelijk de functies van de detectie en de fading-compensatie te scheiden.

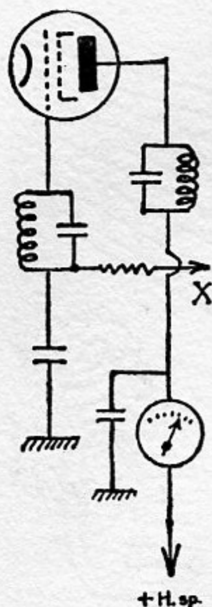
W. — Je tegenwerping is nog zoo gek niet, Vraagal. Teneinde de werking van de *oogenblikkelijke* veranderingen van den door de diode gelijkgerichten stroom te voorkomen en op de H.F.- en M.F.-lampen alleen de *gemiddelde* waarde van de trillingen te laten inwerken, schakelt men dan ook tusschen het punt X en de roosters der lampen een systeem, dat de werking der spanningen vertraagt en hen in zeker opzicht samentelt om het gemiddelde er van te laten passeeren. Die inrichting bestaat uit een weerstand R_1 met hooge waarde en een condensator C. De weerstand verzet zich tegen den onmiddellijken doortocht van de spanningen; de condensator nivelleert de oogenblikkelijke spanningen. De werking van het geheel R_1C heeft een zekere overeenkomst met die van de zelfinductie en van den condensator in den voedingsfilter (fig. 106).



Vr. — Zooals ik zie, is het in iederen ontvanger met diode-detectie voldoende om een weerstand en een condensator bij te voegen teneinde fading-compensatie te verkrijgen. Dat is wonderlijk eenvoudig!

W. — Ik wil nog opmerken, dat soms om de spanning voor de antifading-regeling te verkrijgen, gebruik gemaakt wordt van een andere diode, dan die, welke voor detectie wordt gebruikt (fig. 107). Die tweede diode is in denzelfden ballon gevat als de eerste en gebruikt dezelfde kathode. De wisselspanningen worden aan de tweede anode aangesloten via een kleinen koppelcondensator C_1. De gelijkgerichte stroom doet aan den weerstand R_1 een spanning ontstaan, die afgetakt in punt X door de schakeling R_1C heen aangesloten wordt aan de roosters van de lampen, die door en door geregeld moeten worden.





Vr. — Ik voel meer voor het schema, waarin dank zij je dubbele diode, de functies van de detectie en van de regeling nauwkeurig gescheiden worden.
W. — Zou je, Vraagal, kunnen antwoorden op een vraag, die eigenlijk een strikvraag is? Weet je, hoe de gemiddelde plaatstroom variëert van een H.F.- of M.F.-lamp, die door de fading-compensatie geregeld wordt volgens de sterkte der trillingen?
Vr. — Laat eens zien! Als de trillingen sterker zijn, ontvangt het rooster van de lamp van punt X een meer negatieve spanning. De plaatstroom wordt dan zwakker.
W. — Dat is prachtig. Merk nu op, dat hetzelfde zich voordoet, als je bij het regelen der afstemcondensatoren, door den juisten stand heengaat. Want op dat moment is de aan de diode gegeven spanning het sterkst. Bijgevolg kunnen wij, als wij een milli-ampèremeter schakelen in den plaatkring van de door de fading-compensatie geregelde H.F.- of M.F.-lamp, de juiste afstemming bepalen door het minimum van den plaatstroom op te zoeken.
Vr. — Met een dergelijken milli-ampèremeter zouden zelfs dooven het radiotoestel precies kunnen afstemmen?
W. — Zeer juist! Want die milli-ampèremeter vormt een zichtbaren aanwijzer voor de juiste afstemming. Maar wat voor nut zou een doove daarvan hebben? . . .



NEGENTIENDE GESPREK

Alle pogingen van de radiotechnici zijn er op gericht, de getrouwheid van de weergave te verbeteren. Welnu, gedurende langen tijd schenen selectiviteit en goede muziekweergave onvereenigbare dingen te zijn: Een ontvanger met goede muziekweergave was niet selectief en omgekeerd. Maar de bandfilters zijn op tijd gekomen om de beide vijanden te verzoenen. Weetal vertelt met zijn bekende geestdrift de oorzaken van hun conflict. Meer verbluft dan gewoonlijk stemt Vraagal vóór de veranderlijke selectiviteit.

WEDSTRIJD: SELECTIVITEIT TEGEN MUZIEKWEERGAVE.





Vr. — Gisteravond ben ik bij een vriend geweest, die een erg gevoeligen ontvanger heeft. Wij hebben een heele massa uitzendingen gehoord. Helaas werden sommige stations door een fluittoon gehoord. Hoe komt dat?

W. — Dat is een interferentie-gefluit tusschen twee uitzendingen, waarvan de frequenties heel dicht bij elkaar liggen.

Vr. — Dat is dus hetzelfde verschijnsel als dat, wat bij de superheterodynes de frequentie-verandering tot stand brengt? Of anders gezegd: tusschen twee uitzendingen met te dicht bijeen liggende frequenties ontstaan zwevingen, die aanleiding geven tot een stroom, waarvan de frequentie gelijk is aan het verschil van de frequenties der uitzendingen.

W. — Zoo is het precies. En om die reden schijnt de reglementaire afstand van 9000 Hz tusschen de naburige uitzendingen nauwelijks voldoende. Ieder station heeft daardoor een breedte van slechts 4500 Hz voor de muziekmodulatie.

Vr. — Ik zie geen verband tusschen den onderlingen afstand van de frequenties van de zenders en de muziekmodulatie.

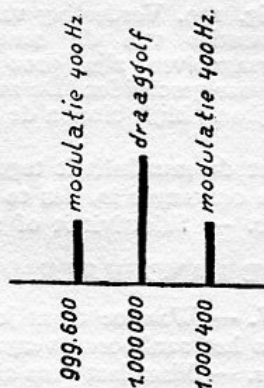
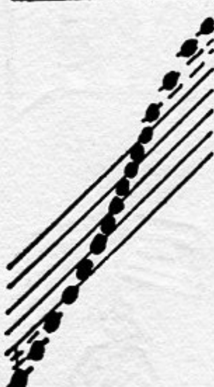
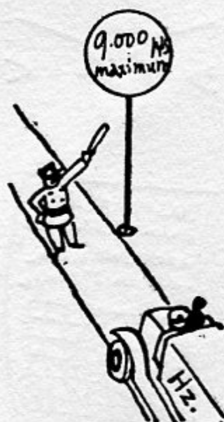


Fig. 108. Modulatie van een golf van 1 000 000 Hz door 400 Hz.



W. — Toch is het van een vitaal belang. Zoolang een zender niet door een klank wordt gemoduleerd, zendt hij slechts één frequentie uit, nl. die van zijn *„draaggolf"*. Maar de modulatie door een klank veroorzaakt direct twee andere frequenties, symmetrisch ten opzichte van de frequentie van de draaggolf. Zoo zal een zender, die op 1 000 000 Hz werkt, en die gemoduleerd wordt door een klank van 400 Hz, naast de draaggolf, twee golven uitzenden met respectievelijk een frequentie van 1 000 400 Hz en 999 600 Hz (fig. 108). Je ziet, dat die golven het gevolg zijn van de som en van het verschil der frequenties van draaggolf en muziekstroom.

Vr. — Door de hooge frequentie te moduleeren, brengt de laagfrequente stroom dus als het ware een frequentie-verandering teweeg?

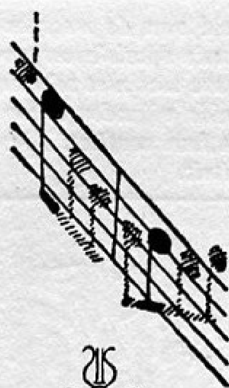


W. — Ja! Als nu iedere muziekfrequentie behalve die van de draaggolf nog twee symmetrisch geplaatste frequenties opwekt, schept het geheel van alle klanken van de muziek, dat tot 10 000 Hz (en zelfs hooger) kan gaan, aan weerskanten van de draaggolf een *band* van frequenties, die samen de *modulatie-zijbanden* heeten.

Vr. — Als ik je goed heb begrepen, strekken de door een station uitgezonden frequenties zich aan weerskanten van de frequentie der draaggolf over een breedte van 10 000 Hz uit. Bijvoorbeeld voor een zender, die op 1 000 000 Hz werkt, loopen de zijbanden van 990 000 tot 1 010 000 Hz.

W. — Dat is volkomen in orde. Maar als iedere zender op de schaal der beschikbare frequenties een strook van 20 000 Hz zou bezetten, was er op geen stukken na plaats voor alle bestaande zenders. Door een internationale

overeenkomst heeft men dan ook de breedte van iederen band der muziekfrequenties beperkt tot 4500 Hz. Zoodat een zender in den aether niet meer plaats inneemt dan een band van 2 × 4500 Hz = 9000 Hz. En het is voldoende, dat er tusschen twee draaggolven een afstand van 9000 Hz bestaat, teneinde twee zenders elkaar niet te laten hinderen... op voorwaarde natuurlijk, dat de ontvanger selectief genoeg is om dien bundel van 9000 Hz te scheiden...





Vr. — Ik denk, dat men met een voldoende aantal goede trillingskringen wel een ontvanger zal kunnen maken, die selectief genoeg is om maar één frequentie te ontvangen.

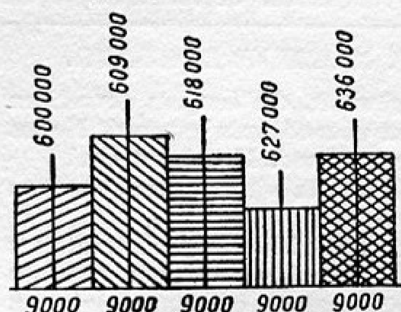


Fig. 109. Verdeeling van de frequenties van de zenders. De draaggolven zijn 9000 Hz van elkaar gescheiden. De modulatie-zijband blijft binnen de 4500 Hz.

W. — Dat zou wat moois zijn! Geef je je er wel rekenschap van, Vraagal, dat een dergelijk ontvangtoestel je maar één toon zou laten hooren?!

Vr. — Neen! Ik zie nu in, dat het noodzakelijk is, dat de ontvanger geheel de 4500 Hz van elk der zijbanden kan doorloopen om alle uitgezonden muziek te kunnen beluisteren.

W. — Maar een breederen frequentieband mag hij niet doorlaten. Anders ontstaat er storing tusschen uitzendingen met aangrenzende draaggolven. En nu ben je gesteld tegenover dat groote probleem, dat de muzikaliteit tegenover de selectiviteit plaatst: hoe minder selectief de ontvanger is, des te beter is zijn muziekweergave.

Vr. — Selectiviteit of zuivere muziekweergave: *ik* zou het laatste kiezen!

DE BANDFILTER VERZOENT DE TEGENSTANDERS.



W. — Waartoe dient je de getrouwe weergave van alle muziekfrequenties, als het aanhooren vergald wordt door het interferentie-gefluit?

Vr. — Maar laat eens zien! Bestaat er geen mogelijkheid om met uitsluiting van iedere andere frequentie één „band" van 9000 Hz door te laten?

W. — Ja! Tenminste, men bereikt dat bij benadering. Eén enkele trillingskring maakt het niet mogelijk dat te doen. De *resonantie-kromme*...

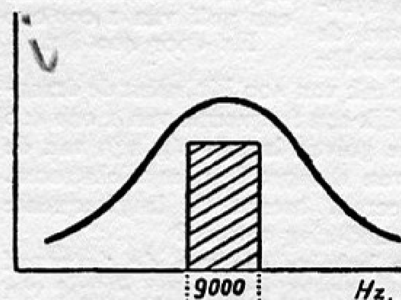


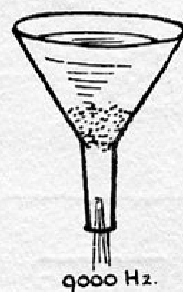
Fig. 110. *Gedempte kring.* Slechte selectiviteit. Goede muziekweergave.

Vr. — Wat is dat nu weer? Daarover heb je me nog nooit gesproken.

W. — Zoo noemt men de kromme, die aangeeft hoe in een trillingskring de stroomsterkte varieert afhankelijk van de frequentie. Klaarblijkelijk is de sterkte maximaal bij de resonantie. Daarna vermindert zij min of meer snel al naar gelang de kring minder of meer weerstand heeft voor den hoog-frequenten stroom. Als de kring slecht, of zooals men zegt *gedempt* is, is de kromme zeer breed (fig. 110); hij laat dan een breeden band frequenties door, maar hij is niet selectief genoeg. Als daarentegen de kring zeer weinig gedempt is (fig. 111), laat hij slechts een smallen band door: selectief genoeg, laat hij nu niet de beide zijbanden compleet door. De ideale resonantiekromme zou rechthoekig zijn met een breedte van 9000 Hz, hetgeen zou aanduiden, dat zij een band van 9000 Hz doorliet en niets anders!



Vr. — Omdat je zegt, dat een dergelijke kromme ideaal is, zal het wel onmogelijk zijn haar tot stand te brengen.
W. — Inderdaad. Maar men kan haar benaderen door *bandfilters* te gebruiken. De eenvoudigste bandfilters bestaan uit twee zwak gedempte trillingskringen, die allebei nabij de frequentie van de draaggolf zijn afgestemd. Door ze losser of vaster te koppelen, verkrijgt men een min of meer breede resonantie-kromme (fig. 112), waarvan de vorm het ideale benadert.
Vr. — En hoe maakt men de koppeling tusschen de trillingskringen, die een bandfilter vormen?



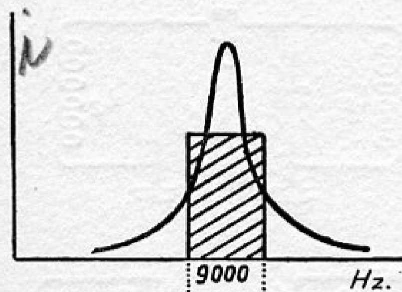


Fig. 111. *Kring met weinig demping.* Goede selectiviteit. Slechte muziekweergave.

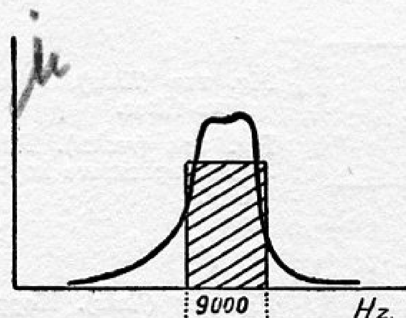
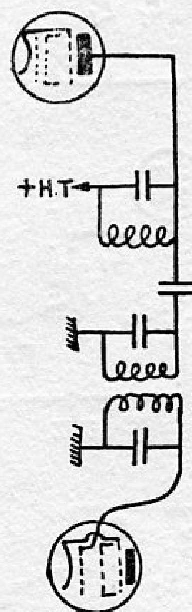
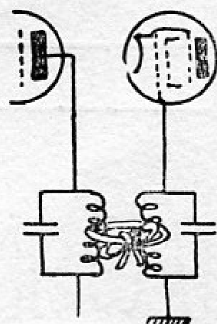


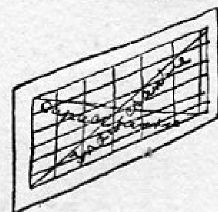
Fig. 112. *Bandfilter,* die een goede selectiviteit paart aan een goede muziekweergave.



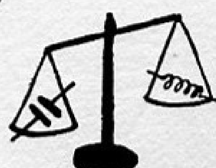
W. — De eenvoudigste manier is, ze inductief te koppelen (fig. 113), waardoor een transformator met afgestemde primaire en secondaire wordt gevormd, of door een kleine capaciteit (fig. 114). In de meer samengestelde filters bedient men zich van een koppeling door een gemeenschappelijke impedantie I.
Vr. — Op welke manier kan een dergelijke impedantie de koppeling vormen?
W. — De stroom, die door den eersten kring gaat (fig. 115), wekt in die impedantie een wisselspanning op, die dan terecht komt op den tweeden kring en daarin een stroom veroorzaakt. Als de impedantie klein is, zal de spanning, die er in ontstaat, ook klein zijn: dat heeft hetzelfde effect als een losse koppeling.
Vr. — Welke soort van impedanties gebruikt men gewoonlijk?
W. — Capacitanties (fig. 116) of, hoewel minder vaak, koppelende inductanties (fig. 117). Om een kleine capacitantie te krijgen, moet een condensator met een tamelijk hooge waarde gebruikt worden, en wel hooger naarmate de frequentie lager is.



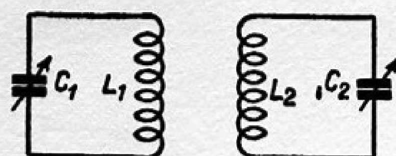
Vr. — Ik herinner me, dat de capacitantie afneemt, als de capaciteit en de frequentie toenemen. En daar de inductantie zich op omgekeerde wijze gedraagt, veronderstel ik, dat men in de inductantie-filters, om een losse koppeling te verkrijgen, een spoel met lage zelfinductie moet nemen, en wel lager naarmate de frequentie hooger is.
W. — Je begint logisch te redeneeren, vriend. Tracht dus dit kleine probleem eens op te lossen: wij hebben twee filters, de eene met capacitieve koppeling, de andere met inductieve koppeling; wij veranderen de afstemming van hun kringen van een bepaalde lagere frequentie naar een hoogere. Zal de breedte van den band van elk der filters dan constant blijven?



Vr. — Zeker niet! In den capacitief gekoppelden filter verminder je door de verhooging van de frequentie de capacitantie; de koppeling vermindert en de bandbreedte wordt kleiner. In den inductief gekoppelden filter wordt de koppeling sterker met de frequentie en bijgevolg wordt de bandbreedte grooter.



W. — Bravo! Merk op, dat het hier om een zeer vervelend verschijnsel gaat. Stel je zoo'n filter met capacitantie voor, die gebruikt wordt als koppeling tusschen twee H.F. trappen van een ontvanger. Veronderstel, dat hij voor de draaggolven met een bepaalde frequentie de banden met de reglementaire frequenties van samen 9000 Hz laat passeeren. Maar als je den ontvanger afstemt op een uitzending met een hoogere draaggolf-frequentie, wordt de afgestemde band te smal; nu is de ontvanger te selectief en is de muziekweergave niet goed genoeg meer.



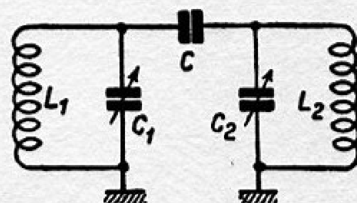
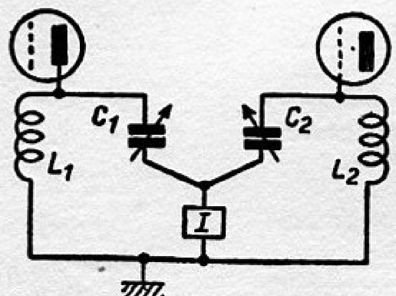


Fig. 113 (*links*). Inductieve filter.

Fig. 114 (*rechts*). Filter met capacitieve koppeling.



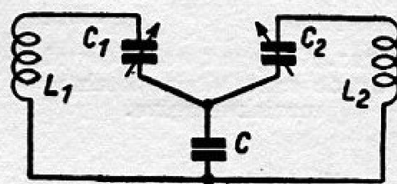
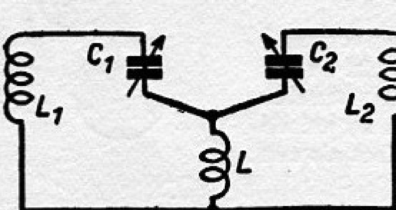


Fig. 115 (*links*). Koppeling door een gemeenschappelijke impedantie I.

Fig. 116 (*rechts*). Filter met gemeenschappelijke capacitantie.



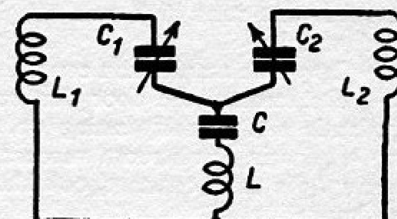
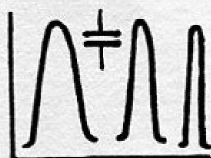
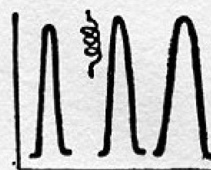


Fig. 117 (*links*). Filter met gemeenschappelijke inductantie.

Fig. 118 (*rechts*). Filter met gemeenschappelijke capacitantie en inductantie.



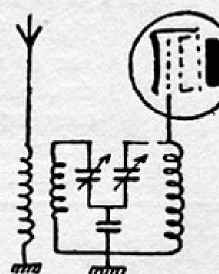


Vr. — Welnu, ik meen, dat er een zeer eenvoudig middel bestaat om de bandbreedte voor alle afstemfrequenties op peil te houden. Het is voldoende de gemeenschappelijke impedantie van den filter samen te stellen uit een capaciteit en een zelfinductie in serie (fig. 118). Hun tegengestelde werkingen wegen tegen elkaar op.

W. — Voordat jij die oplossing gaf, heeft een geleerde, Vreeland genaamd, al met zulke filters geëxperimenteerd. Helaas zijn de dingen niet zoo eenvoudig, want er moet rekening gehouden worden met de phase-verschuivingen van de stroomen in L en C. Er bestaat echter gelukkig nog een andere manier om de moeilijkheid af te wenden: nl. door bandfilters te gebruiken in de M.F. versterkertrappen van de superheterodynes.

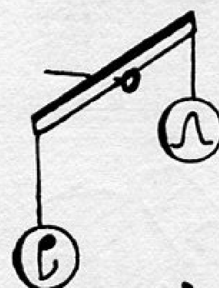
Vr. — Wel alle impedanties! Dat is waar! Dààr zijn we altijd op dezelfde frequentie afgestemd en hebben dus geen verandering van de bandbreedte te duchten.

W. — Ik wil er echter de aandacht op vestigen, dat men in de voorselectiekringen van de superheterodynes, die tusschen de antenne en de eerste lamp zijn geplaatst om de „spiegelfrequenties" weg te werken, vaak gebruik maakt van capacitief gekoppelde bandfilters. Dààr gaat het om het wegwerken van een frequentie, die tamelijk ver van die der afstemming verwijderd ligt. Zonder nadeel kan de bandbreedte dan ook boven de 9000 Hz uit gaan.



VRAAGAL GEEFT DE VOORKEUR AAN DE VARIABELE SELECTIVITEIT.

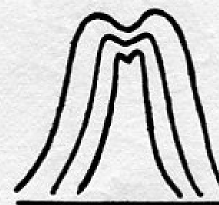
Vr. — Veronderstel nu eens, Weetal, dat wij een ontvangtoestel hebben met bandfilters, die den band van 9000 Hz doorlaten. Als wij nu naar een verre uitzending willen luisteren, die 9000 Hz van een sterken zender in de buurt is verwijderd, zal deze laatste dan de ontvangst niet storen?
W. — Gezien het feit, dat de resonantiekrommen van de filters de ideale kromme slechts kunnen benaderen, zal de ontvangst hoogstwaarschijnlijk gehinderd worden door den naburigen zender. Om een dergelijke ontvangst zonder storingen te ontvangen, heeft men een ontvanger met een buitengewone selectiviteit noodig: de band daarvan moet beneden de 9000 Hz liggen. Door zoo van de muziekweergave een deel op te offeren, kan men niettemin de uitzending nog wel redelijk ontvangen.



Vr. — Ik zou toch liever sommige uitzendingen niet ontvangen, als door die buitengewone selectiviteit de muziekweergave van den ontvanger bedorven werd.
W. — Gelukkig kan men de in schijn onvereenigbare eigenschappen met elkaar verzoenen door de selectiviteit van het toestel variabel te maken. Men gebruikt dan een slechte selectiviteit voor uitzendingen, die geen gevaar loopen om gestoord te worden, d. w. z. voor nabije en sterke zenders. Zij worden dan weergegeven met het maximum van muzikale kwaliteit. Wat de verre en zwakke uitzendingen betreft, die ontvangt men, om interferentie te voorkomen, met een vergroote selectiviteit. In alle gevallen heeft men zoo het maximum van muziekweergave vereenigd met een storingvrije ontvangst.



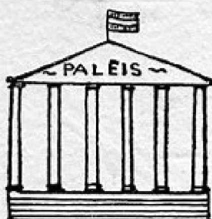
Vr. — Dat is kras! Maar hoe verwezenlijkt men die variabele selectiviteit?
W. — Je bent vandaag weer erg op dreef met kinderachtige vragen, Vraagal! Om de bandbreedte van een filter veranderbaar te maken, is het voldoende om de koppeling daarvan veranderbaar te maken. Dus in de filters met inductieve koppeling maakt men de koppeling variabel met behulp van beweegbare spoelen. In de door impedantie gekoppelde filters gebruikt men variabele condensatoren of variabele zelfinducties. Zekere voorzorgen moeten genomen worden om de verstemming van de kringen, die door de verandering van de koppeling veroorzaakt zou kunnen worden, te voorkomen.
Vr. — Nu, *mijn* ontvangtoestel zal er een met variabele selectiviteit worden!

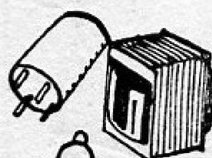


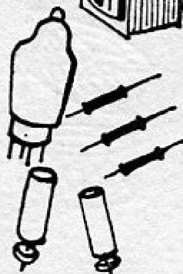


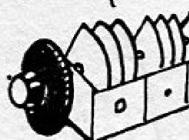
TWINTIGSTE GESPREK

Hier zijn wij nu gekomen aan het einde van onze mooie reis door het schilderachtige land van de radio, die u hebt kunnen volbrengen met behulp van de gesprekken van onze vrienden. Als u ze met aandacht hebt gevolgd, heeft de radio geen geheimen meer voor u, tenminste in groote trekken. Maar voordat zij u verlaten gaan Weetal en Vraagal met gebruikmaking van de verworven kennis het schema van een modern ontvangtoestel schetsen en onderzoeken, waarna zij dan den bouw gaan ondernemen.











EN NU: AAN HET WERK!

Vr. — Wel alle pentoden! Wat zie ik daar? Heb je een winkel van radio-onderdeelen leeggehaald, waarde neef Weetal?!

W. — Dat scheelt niet veel, Vraagal. Wij zijn nu in het actieve stadium van onze technische samenwerking gekomen, die, naar ik hoop, zoo vruchtbaar zal blijken, dat . . .

Vr. — Heb meelij! Verpletter me asjeblieft niet onder dien gezwollen stadhuisstijl . . . Zeg me liever, waarvoor dient die massa afgeschermde spoelen, lampen, weerstanden en condensatoren?

W. — Wel, om eindelijk eens te beginnen met het bouwen van het al zoo lang aan mijn tante beloofde toestel. Ik stel het werkelijk zeer op prijs, dat jij nu alles weet, wat er over de werking van ontvangtoestellen te weten valt, om zonder vrees met den bouw te kunnen beginnen.

Vr. — Ik gevoel me zeer gevleid door dat bewijs van vertrouwen, om ook eens den stijl te gebruiken, waaraan jij vandaag de voorkeur schijnt te geven... Ik zou echter nog willen weten, hoe het schema er uitziet, dat jij me wilt opdringen...

W. — Ik wil je niets opdringen, vriendje! Maak me je wenschen maar kenbaar, dan zal ik trachten een schema samen te stellen, geheel en al naar jouw begeeren!

Vr. — Prachtig! Welnu, het moet natuurlijk een superheterodyne zijn. Om te beginnen plaatsen wij aan den ingang een bandfilter („voorselectie"). Omdat het gaat om een tamelijk breeden band, die juist voldoende is om de spiegelfrequenties weg te werken, zouden wij misschien als ingang een filter met gemeenschappelijke capacitantie kunnen nemen.

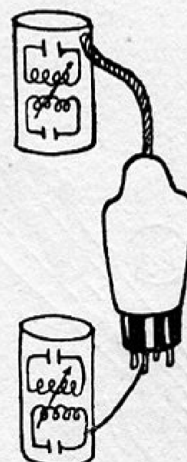
W. — Je wenschen worden ingewilligd, Vraagal! Hier is de filter in kwestie. De antennespoel L_1 wordt inductief gekoppeld met den eersten trillingskring L_2C_1, die op zijn beurt door de gemeenschappelijke capacitantie van den condensator C_3 gekoppeld is met den tweeden kring L_3C_2.

Vr. — Dank je. Nu zou het goed zijn een trap hoogfrequent-voorversterking te maken met behulp van een pentode.

W. — Niets eenvoudiger dan dat. Wij geven het eerste rooster negatieve spanning door den weerstand R_1 (door C_4 ontkoppeld) en bepalen de potentiaal van het schermrooster met behulp van R_2 en R_3 (door C_5 ontkoppeld). De koppeling met de volgende lamp wordt verzekerd door een H.F.-transformator L_4L_5 met door C_7 afgestemde secondaire. Tenslotte wordt de plaatkring ontkoppeld door R_4 en C_6.

Vr. — Dat is goed. Ik denk, dat het nuttig zal zijn een octode achter de pentode te plaatsen om de frequentie van den versterkten stroom om te vormen (of te „mengen").

W. — Dat is ook mijn meening. De octode krijgt door R_5 negatieve spanning. De trillingskring van den hulpgenerator wordt gevormd door L_6 en C_8 en de terugkoppelspoel wordt vertegenwoordigd door L_7. De kring L_6C_8 is aan het eerste rooster verbonden via C_{10}. De potentiaal van dat rooster wordt door R_6 bepaald. De hoogfrequente trilling wordt van den kring L_5C_7 doorgegeven naar het door de beide schermroosters beschermde rooster. De potentiaal van dit laatste wordt door R_7 en R_8 bepaald.



Vr. — Als je dat allemaal zoo van nabij bekijkt, is het niet zòò moeilijk en ingewikkeld meer. Ik zou nu het principe der variabele selectiviteit willen toepassen.
W. — Dat kan natuurlijk. Wij plaatsen aan den ingang en aan den uitgang van de M.F.-pentode twee bandfilters Tr 1 en Tr 2 met variabele inductieve koppeling. En wat nu . . .?
Vr. — Nu gaan we onzen middenfrequenten stroom gelijkrichten. Zullen wij daarvoor een diode, gecombineerd met een triode, gebruiken, zoodat wij aan deze laatste de L.F.-voorversterking kunnen toevertrouwen?
W. — Aangenomen! De weerstand R_{15} en de condensator C_{18} zullen het ons mogelijk maken de laagfrequente spanningen te kunnen overbrengen, die door de diode-detectie worden opgewekt. Voor deze gelegenheid is R_{15} een potentiometer, zoodat een grooter of kleiner gedeelte van die spanning via den koppelcondensator C_{17} op het rooster van de triode zal komen, waarvan de negatieve roosterspanning via R_{16} wordt aangelegd. Die spanning is negatief ten opzichte van die van de kathode, welke meer positief is dan massa, door de aanwezigheid van den polarisatie-weerstand R_{14}.

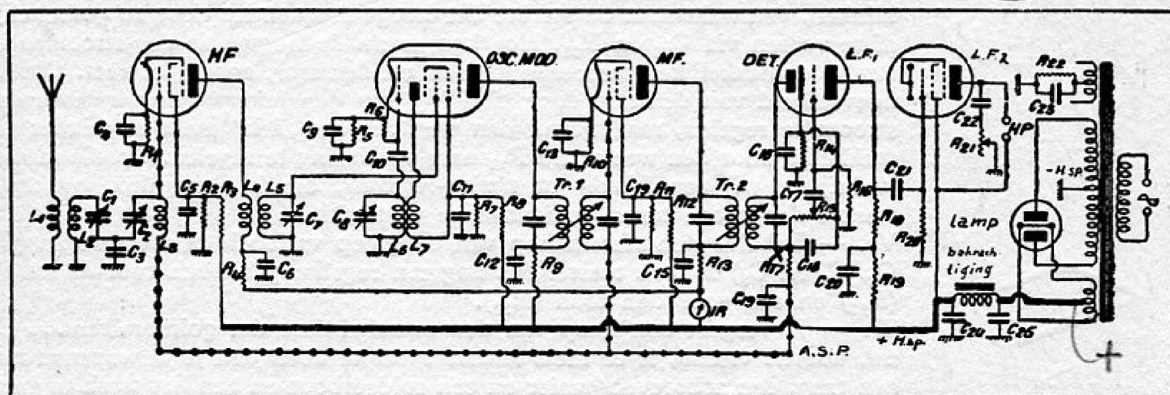


Fig. 119. En hier is nu na vele wijzigingen het definitieve schema voor het ontvangtoestel, waarvan Vraagal den bouw gaat ondernemen.

Vr. — Als wij een modern ontvangtoestel willen bouwen, Weetal, moeten wij het voorzien van een fading-compensatie: een automatische sterkteregelaar. Zou je daartoe geen gebruik kunnen maken van de spanningen, die ontstaan aan het uiteinde X van den detectie-weerstand R_{15}?
W. — Natuurlijk. Wij geven die spanningen via het vertragingssysteem R_{17} en C_{19} aan de roosters der H.F.- en M.F.-pentoden.
Vr. — Zou het, nu we daar een automatischen sterkte-regelaar hebben, moeilijk zijn om er een zichtbaren afstem-indicator in te plaatsen?
W. — Niets eenvoudiger dan dat! In plaats van de ontkoppelweerstanden R_4 en R_{13} van de plaatkringen van onze beide aan de werking der fading-compensatie gewijde pentoden direct aan de + H-sp aan te sluiten, schakelen wij tusschen deze en de + H-sp een milli-ampèremeter IR. Als deze de maximale vermindering van den stroom aangeeft, duidt hij precies den stand voor de juiste afstemming aan.



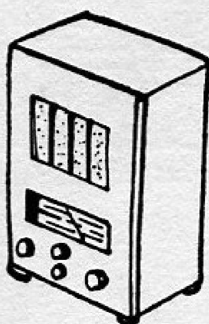
Vr. — Ik ben je zeer dankbaar, dat je zoo aan mijn met moeite geformuleerde wenschen voldoet. Als je niet dat aankomende snorretje had, dan zou ik je voor een goede fee hebben aangezien . . . Maar laten wij verder gaan met het samenstellen van onzen toekomstigen ontvanger. Er blijven nu nog over de eindlamp en de voeding. Voor de koppeling van de eindlamp overweeg ik het systeem van een weerstand en een capaciteit.
W. — Zoo zij het! Laten wij in den plaatkring van den voorversterker R_{18} plaatsen en door R_{19} en C_{20} ontkoppelen. De condensator C_{21} zal voor de koppeling

zorgen. De negatieve potentiaal van het rooster van de eindlamp wordt via R_{20} aangelegd. En daar het een direct verhitte lamp is, polariseeren wij haar door een weerstand R_{22} tusschen het middelpunt van de gloeistroomwikkeling en de — H-sp (massa) te plaatsen. Wat de voeding betreft, die zal onder alle omstandigheden de klassieke zijn. De stroom, waarvan de beide phasen door een dubbele gelijkrichterlamp gelijkgericht worden, wordt afgevlakt met een filter, bestaande uit twee groote condensatoren C_{24} en C_{25} en de zelfinductie van de bekrachtigingsspoel van den electro-dynamischen luidspreker.



Vr. — Ik merk echter tusschen de plaat van de eindlamp en massa de ongebruikelijke aanwezigheid van een condensator C_{22} op, die in serie staat met een veranderbaren weerstand R_{21}. Waartoe dienen zij?

W. — Om van den luidspreker de hooge frequenties van den muziekstroom af te houden. Want zie je, Vraagal, de bij de lage frequenties gebruikte pentoden hebben de slechte eigenschap, dat zij de hoogste frequenties meer versterken en zoodoende dus de hoogste tonen van de muziek het meest bevoordeelen. Om te voorkomen, dat het ten gehoore gebrachte schel gaat klinken, verzwakt men de sterkte der hooge frequenties door ze gedeeltelijk af te voeren via C_{22} en R_{21}. Hoe hooger nu de frequentie der stroomen is, des te gemakkelijker passeeren zij een condensator, zooals je weet. Om de hoeveelheid van den zoo door afleiding van den luidspreker weggevoerden stroom te regelen, maakt men den weg van het „lek" meer of minder gemakkelijk door den weerstand R_{21} naar verkiezing te regelen. Op die manier verkrijgen wij een *klank-* of *timbre-regelaar*, die het mogelijk maakt de sterkte der hooge tonen eenigszins te verzwakken.



Vr. — Behalve den afstemknop van de groep variabele condensatoren (C_1, C_2, C_7 en C_8) zal ons toestel dus nog een regelknop hebben voor de sterkte (R_{15}) en een voor den toon (R_{21}).

W. — Je vergeet den knop van den omschakelaar der golfbereiken . . . En nu, waarde vriend, is er niets anders meer te doen dan je te wapenen met een tang, een schroevendraaier en een soldeerbout en aan het werk te gaan.

LAATSTE RAADGEVINGEN.

Vr. — Geloof je nu werkelijk, dat ik voortaan je verdere raadgevingen zal kunnen missen?

W. — Zeker! In den loop van de twintig avonden, die wij zoo prettig met babbelen hebben doorgebracht, heb ik je weliswaar niet alle kleine details van de theorie uitgelegd, maar je weet er nu genoeg van om met gemak ieder schema te begrijpen. De ingewikkeldste toestellen kunnen ontleed worden in een zeker aantal eenvoudige onderdeelen, die je volkomen kent. Tijd en ondervinding zullen je met één oogopslag die elementen leeren herkennen, welke je vertrouwd zijn. Bij het lezen van de schema's moet je de goede gewoonte aannemen om met een potlood in de hand de wegen van den stroom in de verschillende kringen te volgen, vooral in de kathode-anode-kringen van de lampen. Vergeet niet, dat de electronenstroom, als hij de kathode heeft verlaten, daar tenslotte moet terugkeeren. Oefen je dan ook zoo dikwijls mogelijk in het lezen van schema's. Alleen met kennis van zaken en bewust van de rol van elk afzonderlijk onderdeel kun je het practische werk van den bouw tot een goed einde brengen... Vergeet evenmin, dat de radiotechniek een jonge wetenschap is, nog in volle ontwikkeling en dat alleen het lezen van goede vakboeken en vaktijdschriften je op de hoogte kan houden van de vorderingen der techniek.



Je hebt me in den loop van onze gesprekken zooveel vragen gesteld, dat ik meen op mijn beurt ze alle te mogen samenvatten in één vraag: Ben je nog altijd van meening, dat de radio „zoo verduiveld ingewikkeld" is?

Vr. — De radio? . . . Neen, zij is zeer eenvoudig! Dank zij jouw toelichtingen in woord en beeld van het hoe en waarom, weet ik nu: *Zóó . . . werkt de radio!*

AANHANGSEL

VOOR HEN, DIE MET EEN EENVOUDIG GOEDKOOP TOESTELLETJE WILLEN BEGINNEN.

Het is gemakkeijk tegenwoordig een stel onderdeelen uit den handel te betrekken en daarvan een „super" te bouwen. Wie echter veel plezier van zijn liefhebberij zou willen hebben, kan beter beginnen met een eenvoudig apparaatje, een kristalontvangertje, waarmede hij dan de eerste tochten in den aether kan afleggen.

Na zoo'n ontvangertje gebouwd te hebben — dat behoeft slechts zeer weinig te kosten, want men heeft er niet veel voor noodig en datgene wat men gebruiken moet kost niet veel — en een beetje met de radio vertrouwd te zijn geraakt, kan men tot eenige uitbreiding overgaan door er wat onderdeelen bij te koopen; de onderdeelen, die men dan al heeft, kan men blijven gebruiken.

In fig. 120 van dit aanhangsel ziet ge het schema van een kristalontvanger, dat ge, na dit boek bestudeerd te hebben, ongetwijfeld gemakkelijk met succes zult kunnen bouwen. En hapert er eens iets, wel, dan zal uw leverancier u zeer zeker kunnen helpen, of anders een vriend of kennis, die al langer „aan radio doet". Ook zijn er vereenigingen, met afdeelingen in verschillende plaatsen en vragenbureaux, die gaarne tot inlichtingen bereid zullen zijn. Maar zooals boven gezegd, zult ge het best wel alleen af kunnen!

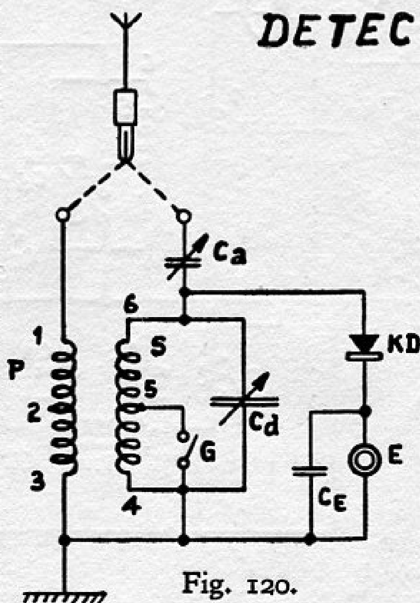


Fig. 120.

In het schema zijn P en S de spoelen van een spoelenstel, dat ge kant en klaar in den handel kunt bekomen. Met een schakelaar G kunt ge omschakelen van lange golf op korte golf. KD is een kristaldetector, E de telefoon en C_E de daarbij behoorende zg. telefooncondensator. De afstemcondensator is met Cd aangegeven, terwijl een andere variabele condensator Ca aanwezig is, waarmede de afstemming beïnvloed kan worden en tevens de selectiviteit en geluidsterkte. Niet dat de sterkte van dezen ontvanger zoo erg groot is, verre van dat, maar ge kunt een en ander nu eens uitprobeeren en daarvan leeren. De antenne kunt ge òf direct op de eerste spoel P aansluiten, òf via den condensator Ca op de tweede spoel S, die met de eerste inductief gekoppeld is.

Als ge spoelen en afstemcondensator koopt, moet ge er op letten, dat ge er later nóg zoo'n stel bij kunt koopen voor het toestel, dat in fig. 2 is geteekend en waarbij hierop is gerekend. Het is echter ook uitvoerbaar met verschillende spoelen en condensatoren, omdat de condensatoren apart zijn (niet op één as zitten). De condensator Cd kan ca. 500 picoFarad zijn, Ca mag kleiner zijn. CE is 1000—2000 picoFarad.

pico = een billioenste

$1\,pF = 10^{-12}\,F$

Een HOOGFREQUENT=TRAP er voor geschakeld.

Dit is gemakkelijk gezegd, ennn . . . óók gemakkelijk gedaan! Ge vindt in fig. 121 eenige bekenden uit fig. 120 terug, nl. het spoelstel PS, den condensator Cd, schakelaar voor het golfbereik G, telefoon E (nu iets anders geteekend) met condensator C_E, alsmede den kristaldetector KD. Ook de variabele antennecondensator Ca heeft weer nut. Practisch kunt ge alles uit fig. 120 gebruiken, behalve mogelijk het frontplaatje en grondplankje waarop ge alles moet monteeren.

HOOGFREQUENTTRAP EN DETECTOR

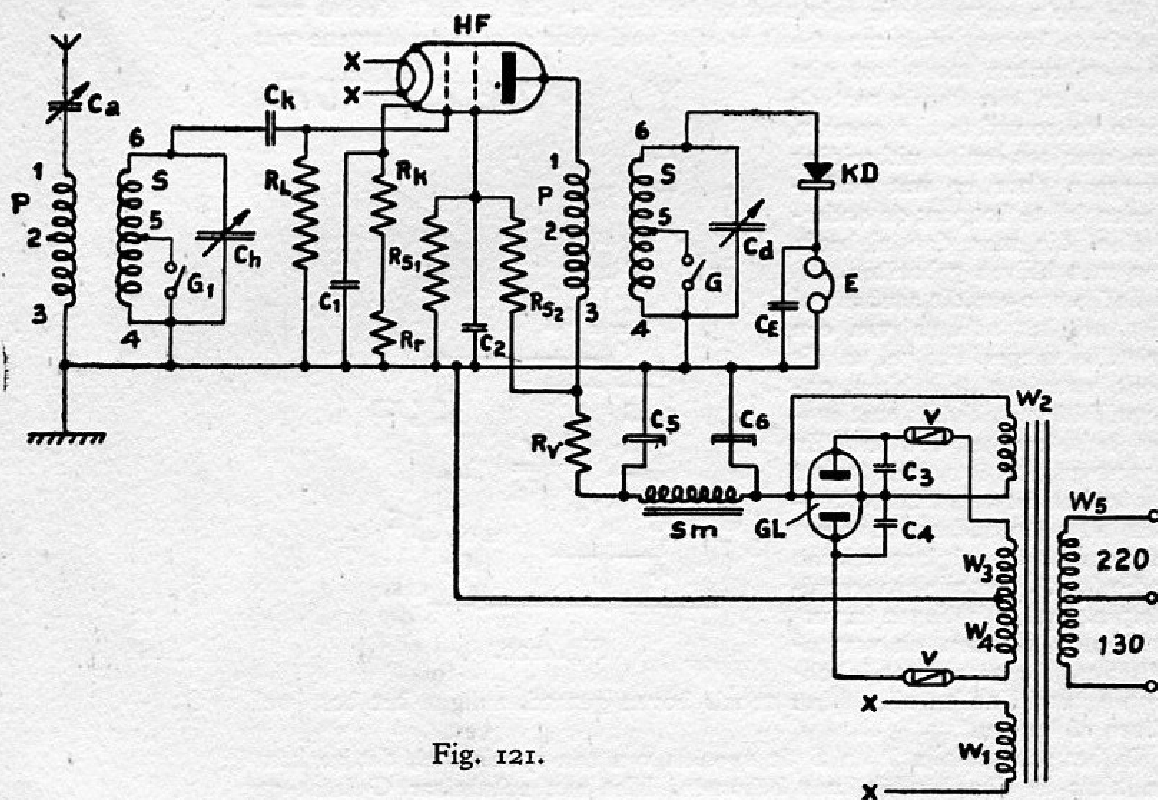


Fig. 121.

Ge ziet in fig. 121 nóg een spoelstel PS, nóg een bijbehoorenden schakelaar G en condensator C_4, gelijk aan Cd. Verder zijn de volgende onderdeelen noodig:

Hoogfrequentlamp HF met voet, een goede roostercondensator Ck van 50—100 pF, liefst een zg. „trimmer", een roosterlekweerstand RL van ca. 1 MΩ, een kathodeweerstand Rk van ca. 350 Ω en een regelweerstand Rr van bv. 0—5000 Ω, afhankelijk van de gekochte lamp. Uw leverancier zal U daar gaarne bij helpen. De condensatoren C_1 en C_2 zijn elk 0,1 μF. RS_1 en RS_2 zijn vaste weerstanden van 40 000 Ω elk. Rv is een voorschakelweerstand van 5000—10 000 Ω afhankelijk van de spanning, die beschikbaar is van het plaatstroomapparaat, dat wij aanstonds bespreken en de gebruikte HF-lamp.

Het plaatstroom-apparaat kunt ge afzonderlijk bouwen en met vier verbindingen op het eigenlijke toestel aansluiten. Het bevat een plaatstroom-

lamp voor tweezijdige gelijkrichting met bijpassenden voet, twee veiligheden V (zg. buiszekeringen) voor 60 mA, een smoorspoel Sm en twee condensatoren C_5, C_6, voor afvlakking van den gelijkgerichten stroom. Deze condensatoren kunnen electrolytische zijn in één huls en elk 8 mF zijn. Zij moeten berekend zijn voor 450—525 V (proefspanning). De condensatoren C_3, C_4 zijn niet altijd noodig, zij dienen voor ontstoring en zijn elk 0,1 mF met hooge proefspanning, want er staat een tamelijk hooge wisselspanning op, nl. die van den transformator. Deze heeft twee wikkelingen W_3, W_4, die elk bv. 250 of 300 V wisselspanning kunnen leveren, verder een wikkeling W_2 voor de gloeispanning van de plaatstroomlamp GL en W_1 voor de HF-lamp. Met W_5 is de primaire wikkeling aangegeven, die voor een of meer netspanningen geschikt kan zijn. Oppassen, dat ge de goede aansluitingen met het stopcontact verbindt!!

De opstelling volgt uit het schema zelf, met dien verstande, dat de HF-lamp tusschen de beide spoelenstellen komt te staan en de variabele afstemcondensatoren elk nabij het bijbehoorende spoelenstel. De rooster- en anodeverbindingen met de HF-lamp moeten zoo kort mogelijk worden uitgevoerd en uit de buurt van elkander gehouden worden.

Met den condensator Ch stemt ge het eerste spoelenstel af en wel terwijl ge met den condensator Cd tegelijkertijd het andere spoelenstel afstemt. Ge vindt na eenige oefening vanzelf hoe ge dit moet doen. Met Ca kunt ge de primaire wikkeling van het eerste spoelenstel afstemmen.

Veel succes! En als ge ook met dit toestel de noodige ervaring hebt opgedaan, begint dan eens met een trap-laagfrequent er achter; het plaatstroomapparaat is op groote uitbreiding berekend! Ook kunt ge gaan beproeven in de plaats van den kristaldetector eens een roosterdetector — een lamp — te schakelen; leest daartoe het boek nog eens door.

Het veld van prettig en allerleerzaamst experimenteeren ligt voor u open; maakt er gebruik van en weest er gelukkig mede.

Als slot een waarschuwing. Laat uw toestel bij de verdere proeven nooit genereeren (meestal gillen, doch niet altijd), want niet alleen bekomt ge daardoor geen goede kwaliteit van de muziek of het gesproken woord, doch bovendien stoort ge er vele buren mede, terwijl het daarenboven wettelijk verboden is. Het plaatstroomapparaat moet ge tegen onwillekeurige aanraking beveiligen, dat zijt ge niet alleen tegenover u zelf, doch ook tegenover uw medemenschen verplicht. Het kost weinig moeite en geld en ge knutselt het gaarne zelf in elkaar! Een omgekeerd bakje van geperforeerd plaatijzer of blik kan voldoende zijn, maar past op voor kortsluiting.

Als ge aan het experimenteeren zijt geslagen en het bevalt u — en daar twijfelen wij niet aan — raadt uw vrienden en kennissen dan aan het boek eveneens te koopen of geef hun er bij gelegenheid een exemplaar van ten geschenke, ge bewijst uw vrienden een dienst er mede, aangezien het voor hen kan beteekenen het vullen van anders misschien vermorsten of verloren tijd.

Stuit ge bij het experimenteeren op vragen, wel, leest het boek nog eens goed door en tien tegen één, dat ge er zelf achter komt, waar de kneep zit.

EXPERIMENTER.